



# LOS PELIGROS DE LOS REACTORES NUCLEARES

LOS RIESGOS CONTINUOS QUE ENTRAÑA LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN EL SIGLO XXI

Mayo 2007

Basado en el informe preparado por  
**GREENPEACE** Internacional.

Por **Helmut Hirsch, Oda Becker,**  
**Mykle Schneider y Antony Froggatt**

**GREENPEACE**

Diseño: xul  [www.xul.es](http://www.xul.es)

Este informe ha sido producido gracias a las aportaciones económicas de los socios de Greenpeace. **Hazte socio de Greenpeace**, llama al **902 100 505** o entra en **[www.greenpeace.es](http://www.greenpeace.es)**

Mayo 2007

Impreso en papel 100% reciclado post-consumo y blanqueado sin cloro.



Garoña



Chernóbil



LOS RIESGOS CONTINUOS QUE ENTRAÑA LA **TECNOLOGÍA NUCLEAR** EN EL SIGLO XXI

Harrisburg



Monju





# LOS AUTORES DEL INFORME

---

**Helmut Hirsch**, [cervus@onlinehome.de](mailto:cervus@onlinehome.de)  
**Consultor científico, Hannover, Alemania.**

---

El doctor Helmut Hirsch es un consultor independiente sobre asuntos nucleares, miembro fundador y científico del Gruppe Ökologie Hannover. A lo largo de su carrera ha ostentado diferentes cargos y ha dirigido varias comisiones: desde 1990 es miembro del "Forum für Atomfragen" (FAF), una comisión de expertos que ofrece asesoramiento sobre temas nucleares al Ministerio de Medio Ambiente Federal Austriaco; en 2004 participó en un estudio sobre el riesgo de ataques terroristas a la instalación de contenedores de almacenamiento temporal de combustible gastado de Grafenrheinfeld (Alemania), para el Ayuntamiento de Schweinfurt, Alemania; en 2003 participó en un estudio sobre los posibles riesgos que entraña la instalación de almacenamiento de combustible gastado de Skull Valley, Utah (Estados Unidos); desde 2002 participa, como experto nuclear, en el Centro de Asistencia Técnica para el Proceso de Supervisión de la central nuclear checa de Temelín, trabajando para la Agencia Federal de Medio Ambiente Austriaca (Viena); entre 1991 y 1998 fue miembro de la Comisión de Expertos encargada de asesorar al Gobierno de la Baja Sajonia (Alemania) sobre asuntos nucleares.

---

**Mycle Schneider**, [mycle@wanadoo.fr](mailto:mycle@wanadoo.fr)  
**Consultor científico, París, Francia.**

---

Mycle Schneider es escritor científico y trabaja como consultor internacional independiente en cuestiones de energía. Entre 1983 y abril de 2003 trabajó como Editor Ejecutivo del Servicio de Información sobre Energía WISE-París y como Editor Jefe del proyecto basado en Internet "Plutonium Investigation". En 2004 dirigió un curso sobre Medio Ambiente y Estrategias Energéticas del Máster Internacional de Ciencia para la Gestión de Proyectos de Ingeniería Energética y Medioambiental en la Ecole des Mines de Nantes, Francia. Entre 1998 y 2003 colaboró como asesor de la Oficina del Ministerio de Medio Ambiente francés y del Ministerio de Energía y Desarrollo Sostenible belga. Ha trabajado como consultor sobre asuntos nucleares para el Ministerio de Medio Ambiente alemán, en el periodo 2000 - 2005.

Ha asesorado a un gran número de clientes, como el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), Greenpeace Internacional, la UNESCO, la Comisión Europea, la Dirección General de Investigación del Parlamento Europeo y su Panel Asesor sobre Opciones Tecnológicas y Científicas (STOA). Entre los estudios realizados por Mycle Schneider destacan el análisis de la proliferación nuclear, de la seguridad, de la protección física de instalaciones nucleares, de asuntos medioambientales y planificación energética. En 1997 recibió el premio Right Livelihood Award (Premio Nobel alternativo) conjuntamente con Jinzaburo Takagi por su trabajo sobre el plutonio.



---

**Oda Becker**, [oda.becker@web.de](mailto:oda.becker@web.de)  
**Consultora científica, Hannover.**

---

Oda Becker es física y ha trabajado en el campo de la seguridad nuclear durante años. Entre sus clientes destacan el Gobierno Federal Austriaco y diversas organizaciones no gubernamentales. Entre otros proyectos, ha colaborado en la elaboración de un proyecto piloto en materia de criterios de seguridad de las centrales nucleares entre 1999 y 2000. Desde 2001, participa en diversos estudios sobre los riesgos de las instalaciones de almacenamiento de contenedores de combustible gastado, donde analiza los escenarios de accidente que se generarían a consecuencia de la colisión de un avión de línea aérea comercial y del impacto de un arma anti-carro. En 2004 colaboró en un estudio sobre la vulnerabilidad de las centrales nucleares alemanas de Biblis y Brunsbüttel ante ataques terroristas, para Greenpeace Alemania.

---

**Antony Froggatt**, [a.froggatt@btinternet.com](mailto:a.froggatt@btinternet.com)  
**Director del Proyecto, Londres, Reino Unido.**

---

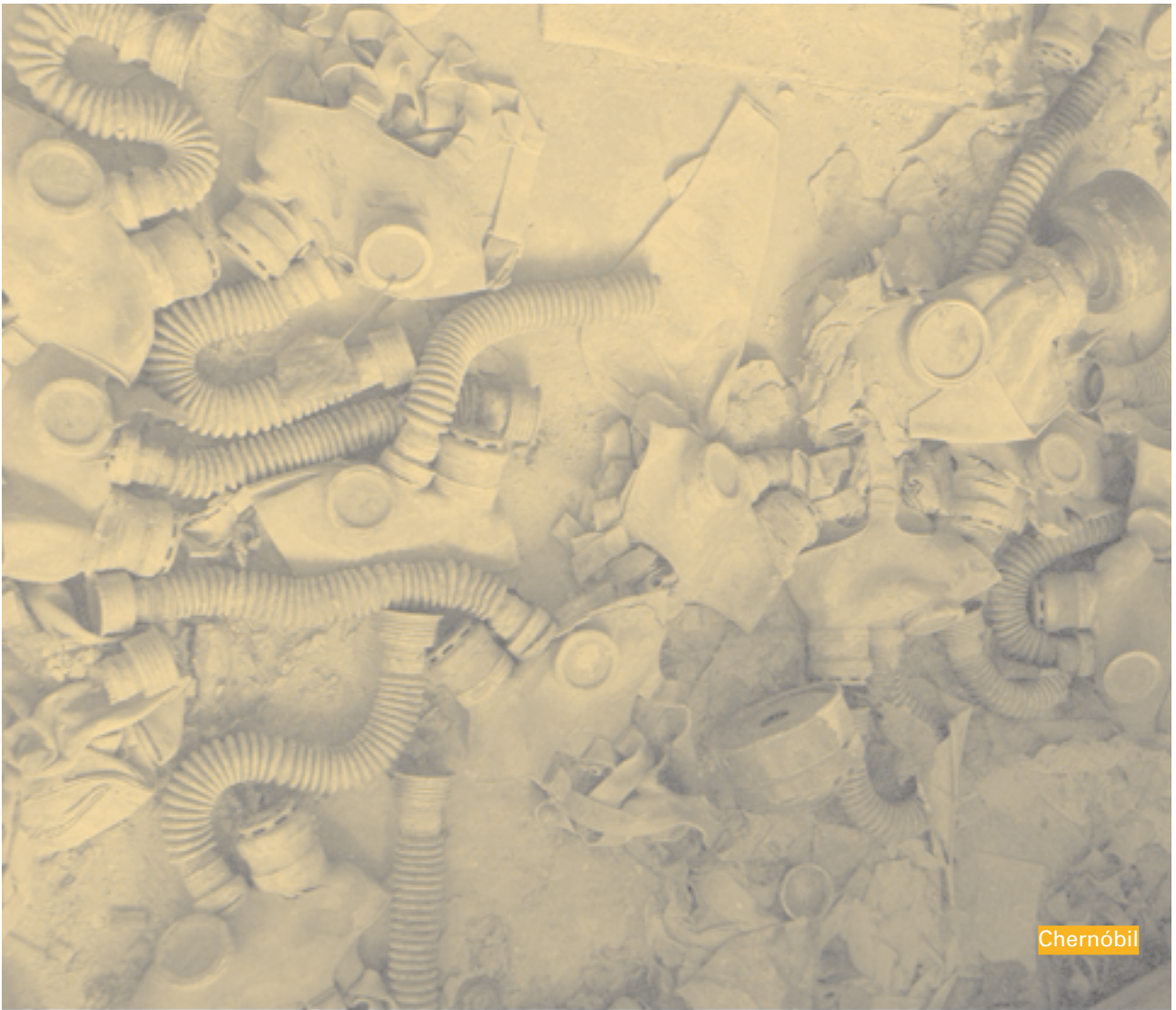
---

**Jan Vande Putte**, [jan.vande.putte@int.greenpeace.org](mailto:jan.vande.putte@int.greenpeace.org)  
**Encargado por Greenpeace Internacional,  
Ottho Heldringstraat 5, 1066 AZ Amsterdam, Países Bajos.**

---



Chernóbil

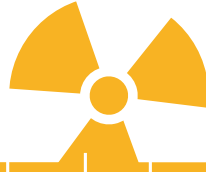


# RESUMEN

Este informe proporciona una visión global de los riesgos de los reactores nucleares en operación, de los nuevos diseños “evolutivos” y de los conceptos futuros de reactores. También examina los riesgos asociados a la gestión del combustible nuclear gastado. La primera parte del informe describe las características y los fallos inherentes de los principales diseños de reactores nucleares que hoy operan. La segunda parte valora los riesgos asociados a los nuevos diseños de reactores. La tercera analiza el envejecimiento de los reactores en funcionamiento. La cuarta parte valora la amenaza terrorista a la energía nuclear. La quinta y última, los riesgos asociados con los impactos del cambio climático, tales como inundaciones, en las instalaciones nucleares.

## **Sus principales conclusiones son:**

- Todos los reactores nucleares en operación tienen serios fallos de seguridad inherentes, que no pueden ser eliminados mediante programas de mejoras.
- Un accidente grave en un reactor nuclear de agua ligera (la gran mayoría de los reactores) puede llevar a liberaciones de radiactividad equivalentes a varias veces la que se produjo en la catástrofe de Chernóbil en 1986, y cercana a mil veces la que liberaría una bomba atómica de fisión. Para realojar a la población afectada se podrían llegar a necesitar enormes extensiones de terreno (más de 100.000 km<sup>2</sup>). El número de muertes por cáncer podría sobrepasar el millón.
- Los nuevos tipos de reactores estarían diseñados supuestamente para ser fundamentalmente seguros. Sin embargo, además de tener sus propios y específicos problemas de seguridad, esos nuevos reactores requerirían enormes sumas para hacer posible su desarrollo, con un resultado incierto.
- La media de vida de los reactores en operación en el mundo es actualmente de 22 años, y en muchos países se está planeando extender la vida de sus reactores más allá de la originalmente prevista en su base de diseño. Esto conduce a la degradación de componentes críticos y al incremento de incidentes severos. Los mecanismos de degradación relacionados con la edad no se conocen bien y son difíciles de predecir.
- La desregulación (liberalización) de los mercados de electricidad ha empujado a las empresas con centrales nucleares a una disminución de las inversiones en seguridad y a la reducción de plantillas. Muchas compañías están aumentando la potencia de sus reactores mediante el incremento de la presión y temperatura de funcionamiento del reactor y del grado de quemado del combustible. Esto acelera el envejecimiento y disminuye los márgenes de seguridad. Los reguladores nucleares no son siempre capaces de hacer frente adecuadamente a esta nueva situación.
- Los reactores nunca podrán estar suficientemente protegidos contra la amenaza terrorista. Existen diversos escenarios, además de la colisión de un avión comercial sobre el edificio del reactor, que podrían provocar un grave accidente.
- Los impactos del cambio climático, tales como inundaciones, sequías extremas, o incrementos del nivel del mar, aumentan seriamente el riesgo nuclear.

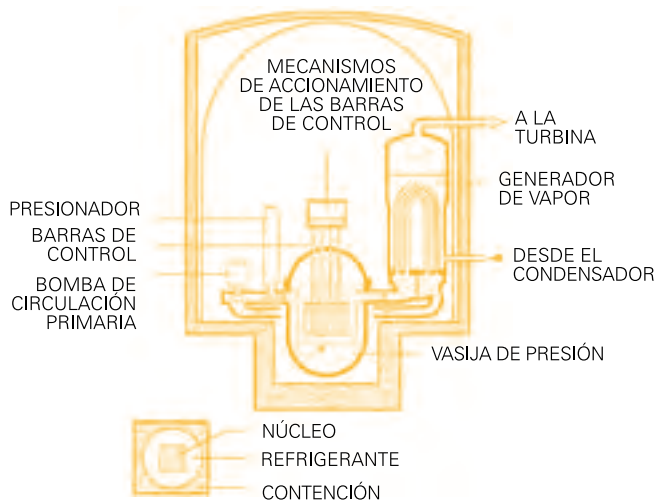


# TIPOS DE REACTORES COMERCIALES Y SUS FALLOS

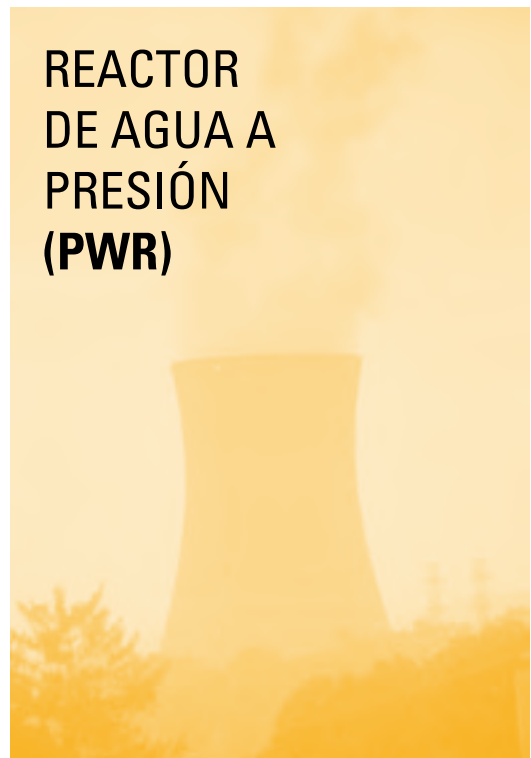
A principios de 2005 existían en el mundo 441 reactores nucleares, funcionando en 31 países. La antigüedad, el tamaño y el diseño de estos reactores varían considerablemente.

El tipo más extendido en funcionamiento es el **Reactor de Agua a Presión (PWR)**, con 215 en todo el mundo. El diseño PWR fue originalmente concebido con fines militares, para propulsar submarinos atómicos. Por tanto, este tipo de reactor es, en comparación con otros diseños, relativamente pequeño, pero tiene una producción elevada

de energía. En consecuencia, el agua de refrigeración del circuito primario del reactor está a una temperatura y a una presión más altas que en otros diseños de reactores comparables. Este factor puede acelerar la corrosión de los componentes y, de hecho, los reactores PWR sufren genéricamente problemas de corrosión en condiciones de operación rutinaria. En particular, los generadores de vapor, la interfaz de transferencia de calor entre el circuito primario (radiactivo, a presión y temperatura elevadas) y el secundario (no radiactivo, a presiones y temperaturas más bajas), tienen que ser sustituidos frecuentemente.

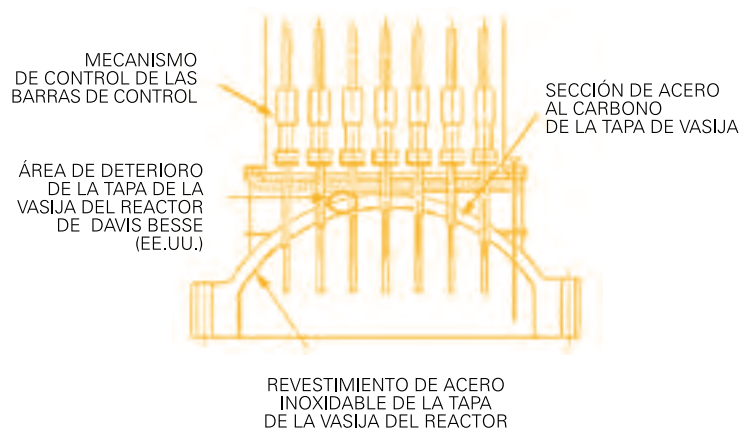


## REACTOR DE AGUA A PRESIÓN (PWR)





## LOCALIZACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LA TAPA DE LA VASIJA DEL REACTOR DE AGUA A PRESIÓN DE **DAVIS BESSE** (EE.UU.)

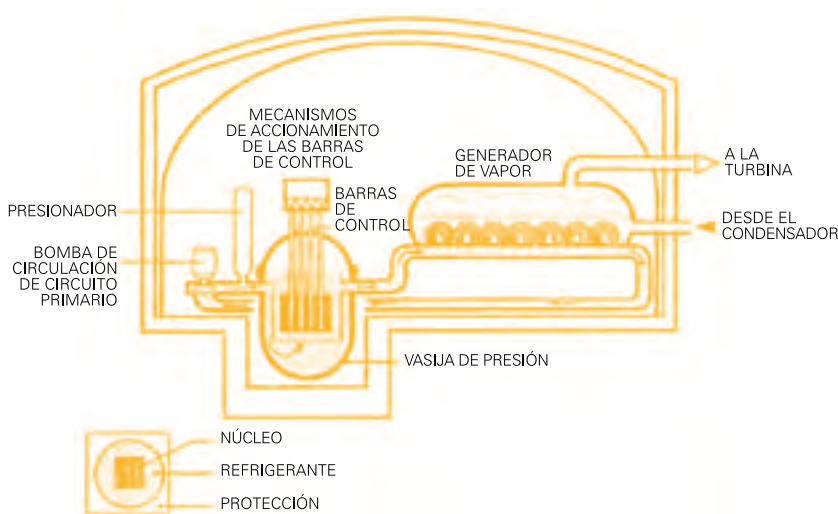


Existe una abundante documentación sobre problemas de agrietamiento en las penetraciones de las tapas de las vasijas de este tipo de reactores. Esta tapa, situada en la parte superior de la vasija de presión del reactor, contiene los tubos que permiten introducir las barras de control en el núcleo del reactor para controlar la reacción nuclear en cadena. A principios de la década de 1990 empezaron a aparecer grietas en las tapas de las vasijas de algunos reactores en Francia, problema que tiene implicaciones negativas tanto para la propia integridad del circuito primario como por afectar a la capacidad de control de la reacción en

cadena. Se llevaron a cabo investigaciones en todo el mundo, detectándose problemas en España, en Francia, en Suecia, en Suiza y en Estados Unidos. El caso más grave descubierto hasta la fecha ha sido el del **reactor de Davis Besse**, en Ohio, Estados Unidos. En este caso el agrietamiento había ido aumentando incontroladamente durante unos diez años, pasando desapercibido en las inspecciones de rutina, y cuando la grieta fue descubierta ya había penetrado muy dentro de la vasija del reactor, de 160 mm de grosor, y sólo el revestimiento de acero de 5 mm de la vasija, con considerables abultamientos a causa

de la presión, logró evitar la ruptura del circuito primario, la más importante barrera de seguridad.

De todos los tipos de reactores comerciales, el PWR es el que ha acumulado la mayor experiencia operativa medida en reactores-año. Es necesario señalar que, a pesar de ello, este diseño de reactor todavía experimenta nuevos y completamente inesperados problemas. Un ejemplo sorprendente es el atasco de los filtros del sumidero, que no fue conocido hasta el año 2000.



## REACTOR DE AGUA A PRESIÓN DE DISEÑO SOVIÉTICO (VVER)

El **Reactor Ruso VVER** tiene un diseño e historial similar a los PWR. En la actualidad existen 53 reactores de este tipo repartidos por siete países de Europa del Este, con tres modelos principales. El más antiguo, el VVER 440-230, tiene defectos de diseño importantes y graves, por lo que el G-8 y la UE consideran que las mejoras necesarias para conseguir unos estándares de seguridad acordes con lo exigido internacionalmente no serían viables económicamente. Preocupa particularmente la ausencia de un sistema de contención secundario y de un adecuado sistema de refrigeración de emergencia del núcleo. En los reactores VVER de segunda generación, los 440-213, se ha introducido un sistema de refrigeración de emergencia del núcleo más eficaz; pero no disponen tampoco de sistema de contención secundario completo. Un tercer tipo de reactor VVER, el 1000-320, incorpora otros cambios

de diseño, a pesar de lo cual no se considera tan seguro como los PWR de la misma época. De hecho, todos los reactores VVER de todas las generaciones, funcionando o en construcción en Alemania Oriental, fueron cerrados o su construcción abandonada tras la reunificación. Así, las unidades 1 a 4 de Greifswald (VVER de primera generación) fueron cerradas inmediatamente, y la unidad 5 de esta misma central, un VVER de segunda generación que había alcanzado su primera criticidad a principios de 1989, fue desmantelado cuando se encontraba todavía en periodo de arranque. Las unidades 6 a 8 de Greifswald así como las 1 y 2 de Stendal, VVER de segunda y tercera generación en distintas fases de construcción en aquel momento, nunca llegaron a terminarse. En estas decisiones se tuvieron en cuenta tanto cuestiones económicas como de seguridad, prevaleciendo finalmente estas últimas.

## Uno de los más graves ejemplos a nivel mundial de un reactor BWR afectado por corrosión es el de la central nuclear española de Santa María de Garoña.

El segundo tipo más común es el **Reactor de Agua en Ebullición (BWR)**, en página 12, (hay 90 en funcionamiento en todo el mundo), que se desarrolló a partir del PWR. Las modificaciones llevadas a cabo en este caso trataban de simplificar el diseño y aumentar la eficiencia térmica, utilizando un circuito único y

generando vapor dentro del núcleo del reactor. Esta modificación, sin embargo, no supuso una mejora de seguridad, sino todo lo contrario. El resultado es que este tipo de reactores presenta casi todas las características peligrosas de los PWR, añadiendo un número considerable de problemas nuevos.

Los reactores BWR tienen una alta densidad de energía en el núcleo, así como una presión y temperatura elevadas en el circuito de refrigeración, aunque estos parámetros son algo más bajos que en los PWR. Por otra parte, el conjunto de tuberías del sistema de refrigeración de emergencia es mucho más complejo en un BWR, y las barras de control se introducen por debajo de la vasija de presión, penetrando a través de su base. La parada de emergencia no puede, por tanto, aprovechar la gravedad, como en un PWR, sino que requiere un sistema activo adicional. La regulación del funcionamiento de un BWR es en general más compleja que la de un PWR.

La corrosión es otro problema importante en los BWR, que ha sido detectado en muchos reactores de este tipo. A principios de la década

de 1990, un gravísimo problema de agrietamiento por corrosión fue detectado en varios reactores BWR alemanes, en sistemas de tuberías de un material que estaba acreditado que era resistente a la llamada corrosión bajo tensión.

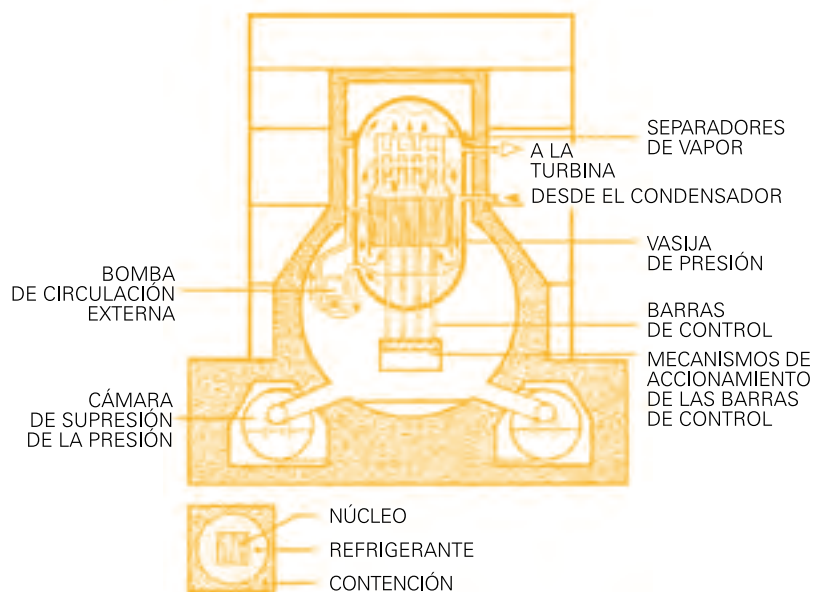
Uno de los más graves ejemplos a nivel mundial de un reactor BWR afectado por corrosión es el de la central nuclear española de Santa María de Garoña. Su reactor sufre un problema creciente de agrietamiento múltiple por un fenómeno de corrosión, que afecta gravemente a una serie de componentes (las penetraciones, el barrilete, las bombas de chorro, etc.) de la vasija del reactor, la cual alberga el combustible de uranio, y que es, por así decirlo, el verdadero corazón de la central nuclear.

En concreto, este problema ha provocado la aparición de grietas en 66 de los 97 tubos que atraviesan la vasija, unos tubos (llamados "penetraciones") a través de los cuales deben pasar al interior de la vasija, con precisión milimétrica, las denominadas barras de control, cuya función es parar las reacciones nucleares que tienen lugar en el reactor. Por lo tanto, la integridad estructural de esos tubos es fundamental para la seguridad nuclear. No hay ninguna otra central nuclear BWR del mismo tipo en el mundo que padezca este problema con la magnitud con que lo sufre Garoña. Este problema de agrietamiento, además de favorecer la pérdida de agua de refrigeración del reactor al exterior de la vasija, provoca la pérdida de integridad estructural de esos tubos, lo que puede, de hecho, impedir que se inserten

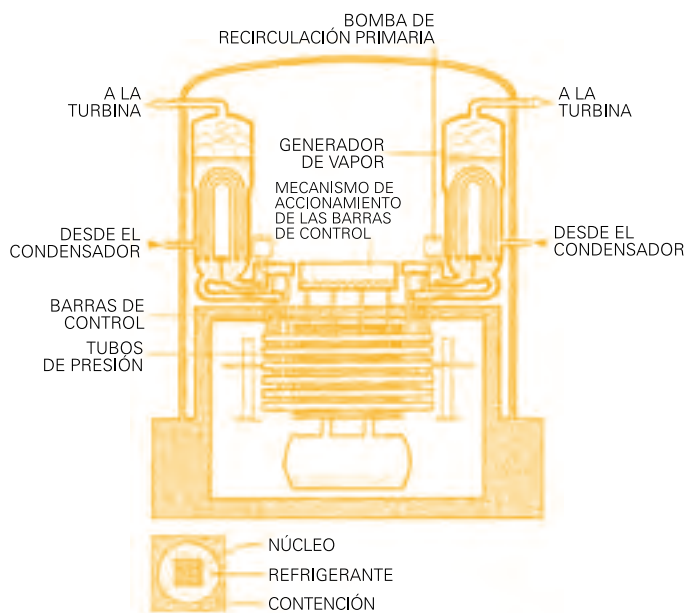
correctamente las barras de control. Un problema, como reconocieron los responsables del Consejo de Seguridad Nuclear ante el Congreso de los Diputados del Parlamento español, que va a seguir empeorando inexorablemente.

Existen otros problemas en reactores BWR, como el ocurrido en 2001 en las centrales de Hamaoka-1 (Japón) y Brunsbüttel (Alemania), a causa de una rotura de tuberías. La causa en ambos casos fue una explosión de una mezcla de hidrógeno y oxígeno, que se produjo por hidrólisis del agua de refrigeración. Si una explosión de oxihidrógeno daña componentes cruciales del sistema de protección y control del reactor, y/o la envuelta de la contención puede provocar un severo accidente con liberaciones catastróficas de radiactividad (comparable a las del accidente de Chernóbil).

El siguiente tipo de reactor más común es el **Reactor de Agua Pesada a Presión (PHWR)**, del que en la actualidad existen 39 en funcionamiento en siete países. El principal diseño es el reactor canadiense CANDU, que utiliza uranio natural como combustible y agua pesada como elemento moderador y refrigerador. El sistema de contención primaria de este reactor recubre los 390 tubos individuales de presión. Hay algunos defectos inherentes al diseño de este modelo, sobre todo el tener un coeficiente de vacío positivo, que supone que el nivel de reactividad aumenta en caso de pérdidas de refrigerante. En segundo lugar, la utilización de uranio natural aumenta de forma importante el volumen de uranio del núcleo, lo que puede dar lugar a problemas de inestabilidad. Los tubos de presión que contienen los tubos de uranio están sometidos a un bombardeo de neutrones considerable, y la experiencia





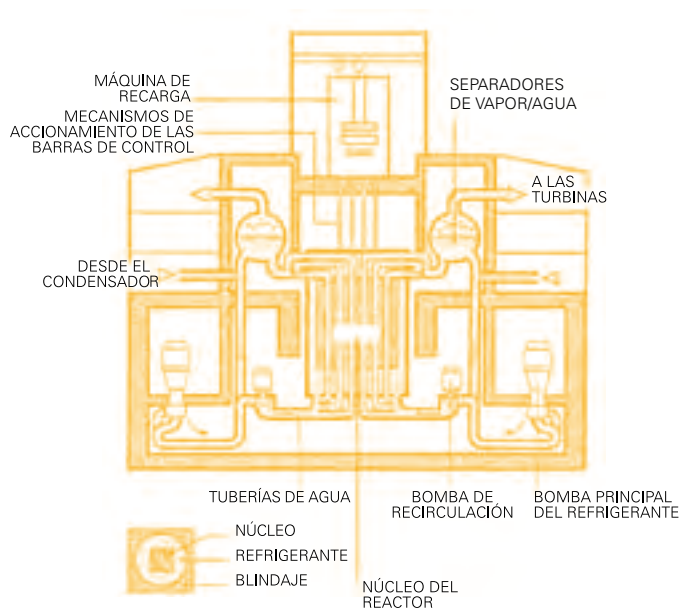


## REACTOR DE AGUA PESADA A PRESIÓN (PHWR)

en Canadá ha demostrado que, como consecuencia de ello, llegan a deteriorarse y requieren costosos programas de reparaciones, en algunos casos a los veinte años de funcionamiento.

Estos y otros problemas de funcionamiento han ocasionado enormes problemas económicos y de seguridad a la serie CANDU. En junio de 1990, seis de los diez primeros reactores en todo el mundo, en términos de rendimiento desde su puesta en marcha, eran de tipo CANDU, cuatro de ellos pertenecientes a Ontario Hydro. En los seis años siguientes, los factores de carga de estos reactores descendieron drásticamente debido a lo que una revista técnica denominó una "fusión de mantenimiento". Es más, el funcionamiento de ocho de los reactores CANDU de Ontario Hydro fue suspendido o aplazado indefinidamente a finales de la década de 1990, aunque algunos se han vuelto ahora a poner en marcha.

El otro modelo fabricado en serie en Rusia es el **RBMK**, un **Reactor de Agua en Ebullición**, en página 14, que utiliza grafito como elemento moderador. Es preciso resaltar que el reactor que explotó en Chernóbil (Ucrania) en abril de 1986 era de este tipo. Estos reactores presentan algunos de los problemas de los CANDU. En concreto, un coeficiente de vacío positivo y problemas de inestabilidad en el núcleo, pero tienen además una serie de problemas adicionales que agravan estos defectos. El principal es un número muy elevado de tubos de presión (1.693 en los RBMK 1000). Algunos de los problemas de diseño de los RBMK han sido rectificadas a raíz de la catástrofe de Chernóbil, llevando a un aumento del enriquecimiento de uranio y modificaciones en las barras de control. Sin embargo, otros problemas no han sido corregidos, por razones técnicas o económicas. Por ejemplo, se ha instalado un segundo sistema de parada completamente independiente y distinto en sólo dos de los doce reactores que permane-



## REACTOR DE AGUA EN EBULLICIÓN MODERADA POR GRAFITO (RBMK), TIPO CHERNÓBIL

cen en funcionamiento, por lo que el resto no cumple con los requisitos de seguridad de las normas de la OIEA.

Los reactores RBMK contienen también más aleación de zirconio (un material inflamable) en el núcleo que cualquier otro tipo de reactor (cerca de un 50% más que un BWR convencional). Contienen asimismo una cantidad ingente de grafito (unas 1.700 toneladas). La posibilidad de que arda el grafito puede complicar de forma grave un accidente, ya que el grafito también puede reaccionar violentamente con el agua a temperaturas elevadas, produciendo hidrógeno (explosivo).

El fallo en un solo tubo de presión en un RBMK no conlleva necesariamente a consecuencias catastróficas. Sin embargo, la existencia de un número elevado de tubos y de

tuberías supone un número igualmente alto de soldaduras, y constituye un sistema difícil de inspeccionar y de mantener. La capacidad de supresión de la presión del sistema de contención de los RBMK ha sido mejorada, de forma que se puede controlar una rotura simultánea de hasta nueve tubos de presión. Sin embargo, en caso de bloqueo de la circulación tras un accidente con pérdida de refrigerante, se podrían alcanzar temperaturas que provocarían la rotura de hasta cuarenta canales, pudiendo dar lugar a una destrucción catastrófica de todo el núcleo del reactor.

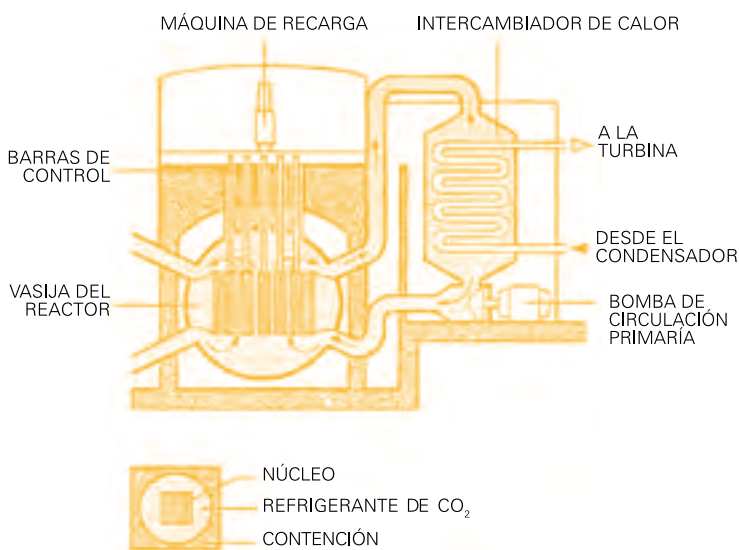
Los graves defectos de diseño de estos reactores han llevado a la comunidad internacional a clasificarlos como "no-mejorables" y a insistir en su cierre. En Lituania y en Ucrania se han clausurado varios, pero a pesar de todo, en Rusia se está intentando prolongar la vida de estos reactores.

El Reino Unido desarrolló dos modelos a partir de los reactores de plutonio, el Magnox, un **Reactor de Uranio Natural Refrigerado por Aire** y que utiliza grafito como moderador, y posteriormente el **Reactor Avanzado Refrigerado por Gas (AGR)**. Los reactores Magnox tienen una densidad de energía muy baja en el núcleo, lo que implica un núcleo de gran tamaño. En un intento de mejorar esta debilidad de diseño en los AGR, la densidad de energía se multiplicó por dos, pero, aún así, ésta sigue todavía siendo baja en comparación con los reactores de agua ligera. El dióxido de carbono gaseoso circula por el circuito primario. La circulación del gas es más compleja en los modelos AGR, debido a que la temperatura más alta requiere un flujo especial del gas a través del moderador de grafito.

En ambos modelos, el núcleo del reactor se encuentra dentro de una vasija de presión de gran tamaño. En los reactores Magnox, la corrosión ha dañado las vasijas de

presión, al atacar al acero del que están hechas. Además, el envejecimiento producido por el calor, y el deterioro de los materiales causado por la fragilidad inducida por el bombardeo de neutrones agrava este problema.

La rotura por debilitamiento de la vasija de presión podría provocar una pérdida total del refrigerante primario, y posiblemente escapes radiactivos de importancia. Por ésta y por otras razones, una serie de centrales Magnox se han cerrado ya. Los operadores afirman que la rotura de la vasija iría precedida de fugas que alertarían suficientemente del inminente problema. Es improbable, sin embargo, que se pueda aplicar este concepto de "Fuga anterior a rotura" LBB, Leak Before Break, (en sus siglas inglés) de forma generalizada a todo el circuito primario. Los sistemas de detección de fugas existentes han de considerarse por tanto insuficientes para descartar rupturas importantes del circuito primario.

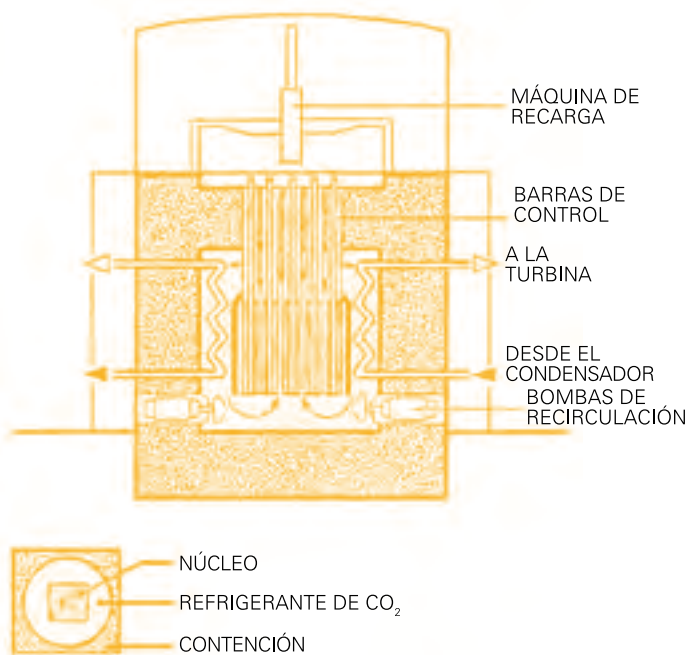


Tanto los reactores Magnox como los AGR carecen de sistema de contención secundario. Ambos tipos de reactor tienen un potencial muy alto de fugas radiactivas importantes. Una posible serie de incidentes en cadena en un AGR sería, por ejemplo, la entrada de vapor en el núcleo del reactor debido a un fallo múltiple de tubos de la caldera, seguido de la rotura de la vasija de presión. En un reactor Magnox, la entrada de aire, que se produciría tras la rotura de la vasija, y la consiguiente ignición de las barras de grafito, podrían provocar un escape importante. Considerando to-

dos los aspectos, la serie de reactores Magnox, relativamente antiguos, debe considerarse especialmente peligrosa debido a sus muchas deficiencias de seguridad.

Los diseños de **Reactores Rápidos Reproductores**, que utilizan sodio en los circuitos de refrigeración, vienen desarrollándose desde el inicio de la era nuclear a finales de los años 40. Durante varias décadas fueron anunciados como la solución a los problemas derivados de la escasez de uranio, ya que los reactores reproductores permiten

una utilización más completa del uranio natural como combustible nuclear, produciendo sistemáticamente plutonio-239 fisionable a partir del uranio-238 no fisionable. En teoría, con ello se prolongarían las reservas de uranio, multiplicándose aproximadamente por 100. Por otra parte, los problemas asociados a la proliferación de este tipo de reactor son especialmente graves, dado que supondrían la producción de grandes cantidades de plutonio de grado militar, que se aislaría y utilizaría para la producción de combustible.

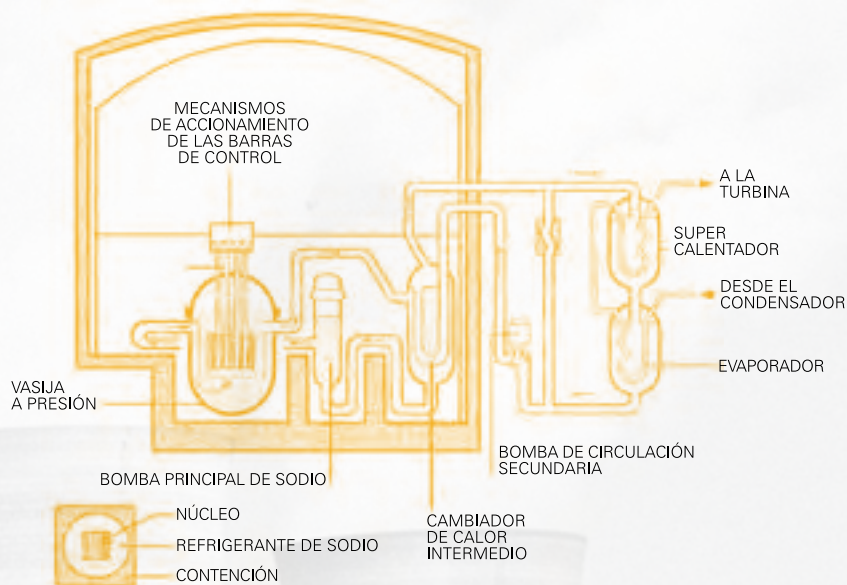


## REACTOR AVANZADO REFRIGERADO POR GAS





## REACTOR RÁPIDO REPRODUCTOR REFRIGERADO POR SODIO

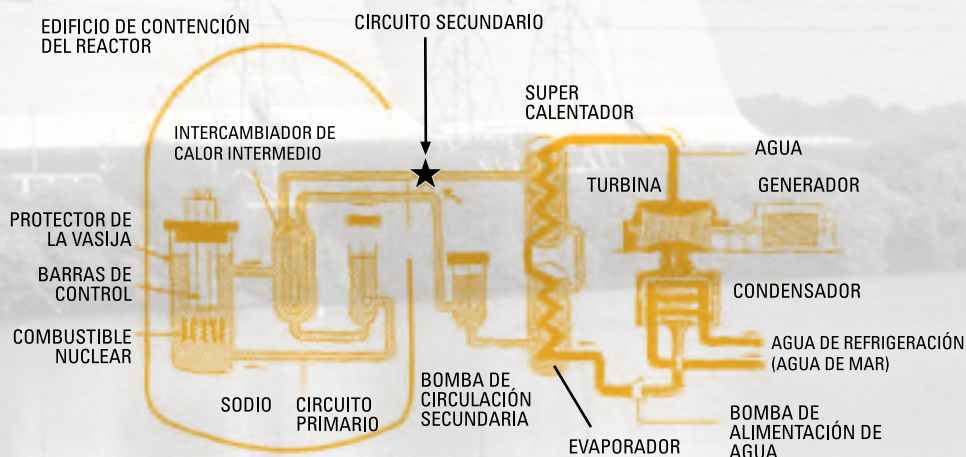


En 2004, sin embargo, sólo existían tres prototipos de reactores reproductores refrigerados por sodio. Es evidente que este tipo de reactor, concebido y desarrollado en las últimas décadas, no tiene futuro. Un ejemplo dramático de las desventajas de la utilización de sodio como refrigerante fue la fuga de sodio fundido del

circuito secundario en el reactor reproductor japonés de **Monju en 1995**, que provocó un incendio enormemente destructivo. Otro gran ejemplo de su fracaso es el reactor Superphenix francés, que falló estrepitosamente en sus aspectos tecnológicos, de seguridad y económicos.

## DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL PROTOTIPO DE REACTOR RÁPIDO REPRODUCTOR DE **MONJU** (JAPÓN)

FUENTE: KANAZAWA INSTITUTE



\* EL REACTOR DE MONJU TUVO UN GRAVE ACCIDENTE EN 1995

★ = PUNTO DE ESCAPE

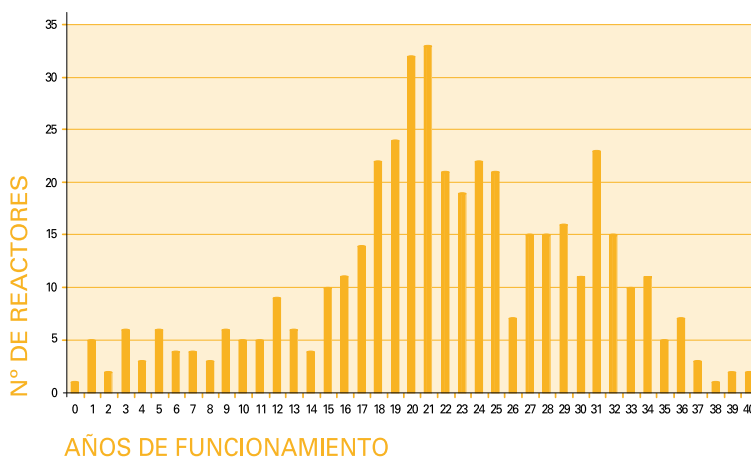


# ENVEJECIMIENTO

## NÚMEROS DE REACTORES POR TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO

(a 8 de marzo de 2005)

FUENTE: OIEA, PRIS 2005  
(<http://www-ns.iaea.org/conventions/nuclear-safety.htm>)



Además de los diferentes problemas inherentes al diseño de los distintos reactores, una serie de factores internos y externos de funcionamiento pueden conjugarse para reducir aún más los márgenes de seguridad: factores que se revisan en los siguientes capítulos de este informe

Existe un consenso general de que la prolongación de la vida de los reactores tiene una importancia primordial para la industria nuclear. La Agencia Internacional de la Energía lo resume abiertamente en la siguiente frase: “de no producirse cambios en la política energética nuclear, la vida de las centrales constituye el determinante más importante para el futuro de la producción de electricidad de origen nuclear en la próxima década”.

A lo largo de las dos últimas décadas, la tendencia general en todo el mundo ha sido no encargar nuevos reactores. Esto se ha debido a diversos factores: miedo a un accidente nuclear, después de los accidentes de Three Mile Island, Chernóbil y Monju; un aumento excesivo de la capacidad de generación de electricidad por otros medios; un análisis más realista del balance económico y la financiación de la energía nuclear, la liberalización de los mercados energéticos; la proliferación nuclear y la amenaza del terrorismo; y cuestiones ambientales, como la gestión de los residuos y los escapes radiactivos. A consecuencia de esta falta de encargos, la media de edad de los reactores nucleares en todo el mundo ha ido en aumento de año en año y asciende actualmente a 22 años.

---

Aunque su vida útil técnica es de unos 25 años, en el momento de su construcción la industria nuclear daba por hecho que los reactores no funcionarían más de 40 años. Ahora, transcurrido el tiempo, y especialmente teniendo en cuenta que en su mayor parte los costes de construcción y desmantelamiento de muchas de esas centrales nucleares ya han sido cubiertos (gracias, en la mayoría de los casos, a generosos subsidios estatales directos e indirectos), la industria nuclear pretende conseguir autorización para prolongar la vida de las centrales nucleares, con la intención de maximizar sus beneficios y para mantener la participación de la energía nuclear en el sector eléctrico.

En cualquier industria, las instalaciones se deterioran con el tiempo debido a las tensiones y al desgaste de componentes que supone su funcionamiento. Los procesos de envejecimiento son difíciles de detectar porque normalmente ocurren a nivel microscópico, afectando a la estructura interna de los materiales. Es frecuente que sólo se pongan en evidencia a raíz del fallo de un componente, por ejemplo la rotura de una tubería.

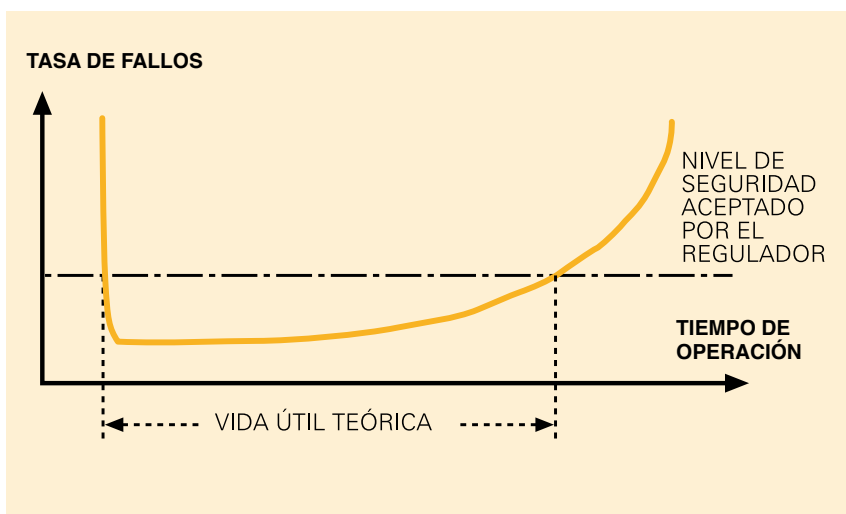
El alargamiento de la vida de estas instalaciones agrava los peligros asociados a su envejecimiento y aumentan el riesgo de una catástrofe nuclear con emisiones radiactivas muy graves.

Las consecuencias del envejecimiento de una central nuclear pueden describirse a grandes rasgos como dobles.

En primer lugar, aumentará el número de incidentes y de sucesos reseñables (incremento del número y frecuencia de las paradas no programadas, fugas, grietas, cortocircuitos debidos a daños en los cables, etc.). En Alemania, por ejemplo, el 64% del total de incidentes registrados entre 1999 y 2003 (teniendo en cuenta la gravedad del incidente) estaban relacionados con las diez centrales más antiguas (de dieciocho centrales nucleares en funcionamiento). En España, la media de edad de todas las centrales es de casi 25 años y todas presentan, en mayor o menor medida problemas de envejecimiento. Garoña, la más antigua en funcionamiento, sufre graves problemas de corrosión y agrietamiento.

En segundo lugar, el proceso de envejecimiento está llevando a un debilitamiento gradual de los materiales que podría provocar fallos catastróficos de algunos componentes, causando un escape radiactivo de enorme gravedad. El más notorio de estos procesos es la fragilización de la vasija de presión del reactor, que aumenta el riesgo de que ésta se rompa, fracasando así en su función de aislar la radiactividad del exterior y llevando al reactor a una situación muy grave en cuanto a la seguridad se refiere.

El debilitamiento de los tubos de presión de un reactor CANDU o RBMK figura también en la categoría de procesos de envejecimiento con consecuencias potencialmente catastróficas. En caso de rotura de un solo tubo o de un reducido número de tubos, hay posibilidades de que el accidente pueda controlarse, pero sería imposible si fallan muchos.



## EVOLUCIÓN DEL N° DE FALLOS DE UNA CENTRAL NUCLEAR EN RELACIÓN CON EL TIEMPO DE OPERACIÓN

La rotura de la vasija de presión de un PWR o un BWR es un accidente no contemplado en el diseño del reactor: los sistemas de seguridad no están diseñados para afrontar esta situación de emergencia, por lo que no hay posibilidad alguna de que sea controlada. La consecuencia sería una liberación de emisiones radiactivas catastrófica.

A medida que envejece el parque de centrales nucleares del mundo, se pretende quitar importancia al peligro que esto supone. Se intenta, por ejemplo, modificar a conveniencia la definición de envejecimiento, reduciendo su

alcance. Por otra parte, la deficiencia básica y más grave de la normativa regulatoria a nivel internacional es que ningún país ha establecido una serie de criterios técnicos comprensivos que permitan decidir cuándo no debe permitirse que una central nuclear continúe en funcionamiento. La consecuencia de esta laguna normativa es que se permite que reactores envejecidos y deteriorados sigan funcionando, cada vez, durante más años.

Es evidente, por tanto que en cuanto una central ha funcionado durante unas dos décadas, el riesgo de un accidente nuclear aumenta significativamente de año en año. Pero no es posible describir cuantitativamente este incremento continuo del riesgo. Una mayor vigilancia del funcionamiento de la central y así como la mejora de los programas de mantenimiento y reparaciones pueden contrarrestar, al menos en parte, esta tendencia. En una época de liberalización comercial y de crecientes presiones económicas para las empresas, la tendencia es sin embargo la contraria, a pesar del envejecimiento del parque de centrales.



# AMENAZAS TERRORISTAS



## Centrales nucleares.

La preocupación por el peligro de atentados terroristas a instalaciones nucleares se planteó incluso antes de los atentados de Nueva York y de Washington en 2001. Las instalaciones nucleares han sido anteriormente objetivos de grupos terroristas y de gobiernos, que han llevado en ocasiones a su destrucción, como en el ataque israelí a la central nuclear iraní de Osirak.

Las amenazas a centrales nucleares a causa de ataques terroristas y acciones de guerra pueden resumirse de la siguiente manera:

- Debido, por un lado, a su papel en el suministro de electricidad, por otro, a las gravísimas consecuencias que tendría una liberación masiva de radiactividad, y por su carácter simbólico, las centrales nucleares son objetivos "atractivos" para los terroristas y también para ataques militares.
- Un atentado a una central nuclear puede provocar escapes radiactivos equivalentes a varios Chernóbil, dado que la cantidad de productos de fisión existente en una central nuclear comercial son de un orden de magnitud 1.000 veces superior a las liberadas por una bomba atómica de fisión.



Podría ser necesario trasladar a la población de zonas muy extensas (hasta 100.000 Km<sup>2</sup>). El número de muertes por cáncer podría superar el millón de personas. Ello generaría además problemas económicos de considerables dimensiones.

- Las centrales nucleares podrían convertirse en objetivo en caso de guerra si se sospecha que se utilizan con fines militares.
- La gama de posibles atentados es muy amplia. Se podría llevar a cabo un atentado desde el aire, por tierra y desde el agua. Con diversos medios y armas.
- La eficacia de las medidas de protección frente a atentados terroristas es muy limitada. Algunas de las medidas que podrían concebirse no pueden aplicarse en una sociedad abierta y democrática.



## Instalaciones de reprocesado y zonas de almacenamiento de combustible nuclear gastado.

La cantidad de plutonio almacenada está aumentando de forma constante. Mientras que Estados Unidos y Rusia acordaron deshacerse cada uno de 34 toneladas de plutonio "sobrante" utilizable en armamento, el arsenal mundial de plutonio "civil" supera las 230 toneladas.

A finales de 2002, el país con mayores reservas de plutonio era el Reino

Unido, con más de 90 toneladas, seguido de Francia con 80 toneladas y de Rusia con más de 37 toneladas. Es significativo que la distribución geográfica del grueso de las existencias de plutonio en el mundo coincida con los lugares donde se encuentran las mayores concentraciones de combustible nuclear gastado. El plutonio tiene dos características peculiares: tiene un gran valor estratégico como compo-



nente primordial de armamento atómico y es enormemente radiotóxico. Unos kilos de plutonio son suficientes para fabricar armas de fisión y la inhalación de unos microgramos es suficiente para desarrollar un cáncer.

### **Un atentado terrorista contra vehículos que transportan materiales radiactivos sería posible casi en cualquier lugar de los países industrializados**

Lamentablemente, ninguno de los edificios de las plantas de reprocesamiento nuclear de Sellafield (Reino Unido) o de La Hague (Francia) han sido diseñados para soportar impactos de gran potencia, como la colisión de un avión de gran capacidad cargado de combustible, ni el impacto de un misil balístico. Aunque esto no quiere decir que en determinadas condiciones las estructuras no puedan soportar este tipo de impactos, la probabilidad de que resistan es muy limitada. El mecanismo más dañino de escape de plutonio, almacenado habitualmente en forma de óxido, sería un incendio que provocase la dispersión de este elemento, transportado por las corrientes de aire en forma de micropartículas inhalables.

Las instalaciones de almacenamiento del combustible nuclear gastado y de residuos radiactivos albergan con diferencia las mayores existencias de sustancias radiactivas de toda la cadena del combustible nuclear. El combustible nuclear gastado almacenado en piscinas de refrigeración y los residuos radiactivos de alta actividad acumulados en lí-

quidos y lodos son especialmente vulnerables a un posible atentado. Ello se debe principalmente a su almacenamiento, en una forma muy fácil de dispersar, en unas instalaciones que no están diseñadas para soportar el choque de un avión de gran tamaño ni un ataque con armas pesadas. Las instalaciones de almacenamiento en las plantas de reprocesamiento contienen inventarios de radiactividad miles de veces superiores al del material radiactivo liberado como consecuencia del desastre de Chernóbil.

La atención pública se ha centrado hasta ahora en el potencial de riesgo de las piscinas de combustible gastado, mientras que en Sellafield el almacenamiento de residuos líquidos de alta actividad ha sido el principal objeto de preocupación. Las instalaciones de La Hague, sin embargo, también almacenaban cantidades importantes (más de 1.100 m<sup>3</sup> en septiembre de 2004) de residuos líquidos radiactivos de alta actividad, hecho que no ha sido objeto de investigación alguna por parte de expertos independientes, ni ha suscitado la atención del público.

### **Instalaciones de almacenamiento de contenedores de combustible gastado.**

Las instalaciones de almacenamiento de contenedores de combustible gastado son muy vulnerables a los atentados, al igual que otros tipos de almacenes. Las liberaciones de materiales radiactivos al medio ambiente debido a posibles



Chernóbil



atentados probablemente serán más pequeñas que las resultantes de un atentado a piscinas de almacenamiento. Por otra parte, el acceso a los contenedores sería más fácil que en el caso de las piscinas de combustible gastado, situadas en grandes edificios.

## Transporte de materiales nucleares.

Un atentado terrorista contra vehículos que transportan materiales radiactivos sería posible casi en cualquier lugar de los países industrializados. Dado que un cargamento es improbable que supere varias toneladas, la liberación de materiales radiactivos sería menor que la provocada por un atentado a una instalación de almacenamiento, incluso si los contenedores transportados sufren daños graves. Pero por otra parte, el lugar de la liberación no puede ser previsto, dado que un atentado podría tener lugar en principio en cualquier punto de la ruta del transporte. Estas rutas atraviesan a menudo zonas urbanas: para el embarque en puertos, por ejemplo, o durante el transporte en ferrocarril.





# CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR



Chernóbil

El cambio climático global es una realidad. Hay ya un amplísimo consenso científico con respecto a este tema. La temperatura media en superficie a nivel global se ha incrementado  $0,6^{\circ}\text{C}$  (+/-  $0,2^{\circ}\text{C}$ ) desde finales del siglo XIX. Los resultados de las investigaciones realizadas por científicos que estudian el clima indican que incluso ligeros cambios en la temperatura tienen un tremendo impacto sobre el número de eventos climáticos extremos que finalmente ocurren. Los modelos demuestran que aumentará la frecuencia de tormentas y de precipitaciones más intensas, lo cual puede repercutir negativamente, como de hecho ya ha sucedido, en el funcionamiento de las instalaciones nucleares, particularmente en las centrales nucleares. Estamos advirtiendo ya unas pautas climáticas más extremas: en los últimos diez años se han dado ocho de los años más calidos de la historia. Durante 2003 se registraron alrededor de 700 episodios naturales con riesgo. 300 fueron tormentas y episodios climáticos extremos, y cerca de 200 fueron inundaciones de importancia.

Estos episodios climáticos inusuales repercuten en el funcionamiento de las centrales nucleares, causando

inundaciones o sequías que afectan al sistema de refrigeración y/o a otros sistemas de seguridad. Las tormentas pueden además repercutir de forma directa, en el funcionamiento de una planta, o indirectamente, al dañar las redes eléctricas. Las tormentas violentas pueden provocar daños múltiples en las líneas de transmisión y ocasionar una pérdida del aporte de energía eléctrica a la central, la cual depende del suministro exterior para hacer funcionar una amplia serie de sistemas. Aunque toda central nuclear tiene sistemas de suministro de electricidad de emergencia, normalmente mediante generadores diésel, éstos tienden a ser, a su vez, de funcionamiento problemático. Si los generadores diésel de emergencia fallasen, la situación de la planta sería crítica, se daría lo que se viene a denominar un "station blackout": un apagón. Un apagón total en una central nuclear es un suceso precursor que frecuentemente termina provocando daños severos en el núcleo de combustible de uranio. Sin electricidad, la instrumentación no funciona y el operador pierde el control de la potencia del reactor, lo que puede llevar a que se produzca la incapacidad de refrigerar el núcleo del reactor. Un desastre natural que provoque la pérdida de suministro eléctrico

---

exterior en una central nuclear, combinado con un fallo de sus sistemas de generación diésel de emergencia, puede resultar en un accidente grave.

En agosto de 2006, la central nuclear de Santa María de Garoña tuvo que parar a causa de las elevadas temperaturas de las aguas del río Ebro, del cual depende su refrigeración. En repetidas ocasiones, además, la central nuclear de Vandellós 2 ha sufrido paradas no programadas debido a fuertes temporales que dañaban la red eléctrica de la que depende su suministro eléctrico. Estas y otras

ocasiones han demostrado, una vez más, que también las instalaciones nucleares dependen fuertemente de las condiciones meteorológicas para su funcionamiento

La normativa reguladora y las prácticas de gestión que gobiernan sobre estas situaciones, todavía reflejan condiciones de los años 80, y no son las apropiadas para la situación presente de incremento de riesgo para el funcionamiento de la red eléctrica, debido al fenómeno del cambio climático, la liberalización de los mercados eléctricos y el incremento de riesgo de ataques terroristas.



# NUEVOS TIPOS DE REACTORES



A pesar de que solamente existen unos 30 reactores en construcción en todo el mundo (algunos de los cuales puede que nunca se terminen) se sigue desarrollando tecnología nuclear, actualmente centrada en dos tipologías principales:

#### • Tercera Generación

En el mundo hay cerca de veinte conceptos distintos para lo que debería ser el próximo modelo de reactor, conocido como Generación III. La mayoría de ellos son diseños denominados por la industria nuclear como “evolutivos”, que han sido desarrollados a partir de ciertas modificaciones, en algún caso con enfoques innovadores, pero sin introducir cambios drásticos de los diseños de los reacto-

res actuales (Generación II). Sin embargo, sólo en Japón existe algún tipo de reactor de Generación III funcionando a escala comercial: es el Reactor Avanzado de Agua en Ebullición (ABWR). El siguiente modelo más adelantado es el Reactor de Agua a Presión Europeo (EPR), del cual uno está en construcción en Finlandia (con notorios retrasos y grandes costes, respecto a lo inicialmente establecido) y que puede que también se implante en Francia.

Como se ha mencionado, estos reactores suelen ser versiones modificadas de los existentes. En el caso del EPR, se trata simplemente de una versión más moderna de modelos actuales de reactor (el reactor N4 francés y el

---

Konvoi alemán) con algunas mejoras, pero también con menos margen de seguridad y menos redundancias en algunos de los sistemas de seguridad.

Muchos técnicos consideran que los conceptos de diseño de los reactores de Generación III se encuentran todavía en fase de aplicación poco avanzada, que su implantación en serie es improbable, y que están siendo promocionados únicamente para mantener la base de fabricación de los constructores nucleares y como “escaparate” de cara a la opinión pública, a los políticos y a la industria.

#### • Cuarta Generación

Bajo el liderazgo de Estados Unidos se estableció en el año 2000 un programa internacional para los reactores de Cuarta Generación denominado “Generation IV International Forum” (GIF). En la actualidad se están considerando seis modelos de reactor, que incluyen: el Sistema de Reactor Rápido Refrigerado por Gas (GFR); el Sistema de Reactor Rápido Refrigerado por Plomo (LFR); el Sistema de Reactor de Sal Fundida (MSR); el Sistema de Reactor Supercrítico Refrigerado por Agua (SCWR); el Sistema de Reactor Rápido Refrigerado por Sodio (SFR); y el Sistema de Reactor a Muy Alta Temperatura (VHTR).

No está claro, sin embargo, qué tipo de reactor se va a potenciar, cuál es el tamaño más apropiado, si debería apostarse por un ciclo de combustible cerrado o abierto, o cual sería la fecha fijada como límite para su comercialización. Las cuestiones por resolver no son en absoluto nimias, ya que tienen enormes implicaciones, como el desarrollo de nuevos combustibles, el ciclo de combustible de torio y el despliegue a gran escala de combustibles de plutonio.

En realidad, los conceptos básicos de la “nueva generación” de reactores han estado ahí desde hace décadas, desde el comienzo de la industria nuclear, son tan viejos



como la energía nuclear. Pero se quedaron fuera de mercado desde el principio, desplazados por los reactores de agua ligera, debido a que las experiencias conocidas estuvieron plagadas de problemas técnicos y económicos y con grandes lagunas en cuanto a la seguridad. Para resolver estos problemas, tendrán que ser desarrollados materiales, procesos y sistemas de operación significativamente diferentes de los que actualmente están operativos. Y aún así estos diseños deberían poder probar, sin resquicio de dudas, su viabilidad técnica, económica y su seguridad.

Cada uno de estos tipos de reactores tiene grandes variaciones, y relativas ventajas y desventajas con respecto a los otros. En la actualidad, sin embargo, no son más que diseños sobre el papel, y la previsión más optimista de comercialización apunta al año 2045.

# TABLA DE MATERIAS

<b>Resumen ejecutivo</b> .....	7
<b>Tipos de reactores comerciales y sus fallos</b> .....	8
· Reactor de Agua a Presión (PWR) .....	8
· Reactor de agua a presión de Davis Besse (EE.UU.) .....	9
· Reactor de Agua a Presión de Diseño Soviético (VVER) .....	10
· Reactor de Agua en Ebullición (BWR) .....	12
· Reactor Refrigerado por Agua Pesada a Presión (PHWR) .....	13
· Reactor de Agua en Ebullición Moderado por Grafito (RBMK) .....	14
· Reactor Magnox .....	15
· Reactor Avanzado Refrigerado por Gas (AGR) .....	16
· Reactor Reproductor Rápido Refrigerado por Sodio (SFR) .....	17
<b>Envejecimiento</b> .....	18
<b>Amenazas terroristas</b> .....	21
· Centrales nucleares .....	21
· Instalaciones de reprocesado y zonas de almacenamiento de combustible nuclear gastado .....	22
· Instalaciones de almacenamiento de contenedores de combustible gastado .....	23
· Transporte de materiales nucleares .....	24
<b>Cambio climático y tecnología nuclear</b> .....	25
<b>Nuevos tipos de reactores</b> .....	27
· Tercera generación .....	27
· Cuarta generación .....	28
<b>Tabla de materias</b> .....	29





**GREENPEACE**