



CIUDADANÍA Y VALORES
FUNDACIÓN

***SEGURIDAD DEL PARQUE NUCLEAR
ESPAÑOL.
Análisis de los principios fundamentales de
la seguridad
de las instalaciones y actividades nucleares***

Glosa de una Publicación del Foro Nuclear

*Agustín Alonso Santos
Catedrático de Tecnología Nuclear*

Abril 2011



La Fundación Ciudadanía y Valores como institución independiente, formada por profesionales de diversas áreas y variados planteamientos ideológicos, pretende a través de su actividad crear un ámbito de investigación y diálogo que contribuya a afrontar los problemas de la sociedad desde un marco de cooperación y concordia que ayude positivamente a la mejora de las personas, la convivencia y el progreso social

Las opiniones expresadas en las publicaciones pertenecen a sus autores, no representan el pensamiento corporativo de la Fundación.

Sobre el autor

El Profesor Agustín Alonso es Catedrático de Tecnología Nuclear en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, con la distinción de Profesor emérito.

En 1956 ingresó en la antigua Junta de Energía Nuclear donde se formó como especialista en seguridad nuclear, llegando a ser Director del Departamento de Seguridad Nuclear. También ha sido Consejero del Consejo de Seguridad Nuclear entre 1994 y el año 2001. Ha sido asesor científico del Foro Nuclear desde 1980 hasta 1994.

En el campo internacional ha sido cofundador del Comité de Seguridad de las Instalaciones Nucleares de la Agencia de Energía Nuclear de la OECD, donde llegó a ocupar el puesto de Vicepresidente y ha sido miembro (1996-2010) del prestigioso Grupo Internacional de Seguridad Nuclear, INSAG, que asesora de forma independiente al Director General del Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Es miembro de la Sociedad Nuclear Española, donde sirvió como Presidente. De la Sociedad Española de Protección Radiológica, donde ha sido Asesor Científico y es Miembro de Honor. Es Miembro "Honoris Causa" de la Sociedad Nuclear Europea.

En 2008 recibió el Premio Theos Thompson, de la Sociedad Nuclear Americana en reconocimiento de sus actividades internacionales en el campo de la investigación y la enseñanza sobre seguridad nuclear.

SEGURIDAD DEL PARQUE NUCLEAR ESPAÑOL
Análisis de los principios fundamentales de la seguridad
de las instalaciones y actividades nucleares

Agustín Alonso Santos
Catedrático de Tecnología Nuclear

El Foro Nuclear ha publicado un extenso informe sobre la **Seguridad del parque nuclear español** en el que se analizan los principios fundamentales sobre los que se basa la seguridad de las centrales nucleares en explotación. El documento concluye que la ubicación, el diseño, la construcción, la operación y el desmantelamiento de las centrales nucleares se han ajustado a principios y normas de seguridad internacionales. Para medir la seguridad se han seleccionado índices de validez internacional; los valores nacionales se han comparado con los equivalentes de las centrales de otros países y de todo el mundo y se encuentran, en todos los casos, en el primer tercio de la distribución global.

El documento, inspirado por la Presidencia del Foro Nuclear, ha contado con la participación de once expertos, bajo la dirección de un Director-coordinador independiente, y la revisión de un Comité Asesor formado por personalidades relevantes de las empresas eléctricas con intereses nucleares.

1. Las bases del estudio. Con el objetivo de que fuese de interés para un amplio círculo de lectores, se consideró necesario que la seguridad de las centrales del parque nuclear español tenía que ser presentada sobre una base sólida, que destacase los aspectos conceptuales, sin despreciar los tecnicismos relevantes. En el año 2007, el Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, publicó un documento titulado '**Los Principios Fundamentales de Seguridad**', en el que se resume más de medio siglo de experiencia nuclear. El documento, cuya validez internacional ha sido reconocida, establece los principios básicos para protegerse de las radiaciones sin renunciar a los beneficios inherentes al uso de la energía nuclear. El Foro Nuclear estimó necesario y pionero fundamentar sobre una base tan sólida el estudio realizado.

1.1. El principio de la responsabilidad primordial. El primer principio fundamental de la seguridad define a quién corresponde la responsabilidad de la seguridad, que el documento mencionado asigna, de forma primordial, al titular de la instalación; el titular es el único responsable de garantizar la explotación segura de la central, formar los cuadros humanos de operación, mantener en un estado saludable las estructuras, sistemas y componentes que forman parte de la central y aplicar las nuevas normativas que resulten de la investigación y de la experiencia operativa. Los titulares de las centrales nucleares españolas han comprendido y aceptado plenamente tal responsabilidad.

1.2. Las funciones del Gobierno. El segundo principio fundamental define las funciones que deben atender los gobiernos para fomentar el uso pacífico de la energía nuclear sin riesgo para las personas, la sociedad y el medio ambiente. Este principio aconseja crear un conjunto de disposiciones y realizar actividades administrativas, que comienzan con la promulgación de leyes sabias y decretos que regulen la autorización de tales instalaciones; continúan con la creación de instituciones competentes que promuevan la promulgación de normativa técnica, midan, controlen y vigilen las operaciones que se realizan en las centrales nucleares y corrijan cualquier anomalía que detecten. En nuestro país, esa institución es el Consejo de Seguridad Nuclear, CSN. De esta forma se ha creado una pirámide normativa satisfactoria que regula el uso seguro de la energía nuclear y las radiaciones, sin perjudicar los beneficios que pueden prestar a la nación, la sociedad y los individuos. En la figura 1 se representa el concepto de pirámide normativa.



Figura 1. Composición y valor legal y técnico de la pirámide normativa nacional. La promulgación de leyes corresponde al Parlamento, los decretos al Gobierno, las órdenes ministeriales al Ministerio que corresponda, las Instrucciones técnicas y Guías de seguridad al CSN y la normativa industrial a las Instituciones industriales.

Se pide también a los gobiernos que fomenten la revisión de las instalaciones y de las actividades nucleares por pares homólogos internacionales e independientes y ratifiquen los numerosos convenios internacionales que se han creado, en especial el Convenio sobre Seguridad Nuclear. El estado español es parte en todos los convenios existentes y los sucesivos gobiernos han estimulado la revisión de las instalaciones nucleares por expertos competentes de otras naciones bajo la coordinación y responsabilidad del Organismo Internacional de Energía Atómica. El propio Consejo de Seguridad Nuclear ha recibido una de estas revisiones con resultado satisfactorio.

1.3. Las funciones del Consejo de Seguridad Nuclear. En el año 1980, España fue pionera en la creación del Consejo de Seguridad Nuclear como único organismo técnico, independiente de la Administración y competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, cuyos informes son preceptivos y vinculantes cuando son negativos. Este Organismo, que adquiere por ley sus recursos económicos por los servicios que presta a los titulares de las instalaciones, ejerce tres funciones

principales: (1) La *función reguladora* supone la propuesta al gobierno de leyes y decretos y la promulgación de instrucciones propias de obligado cumplimiento; (2) la *función de vigilancia* reside en la evaluación del cumplimiento estricto de los requisitos de seguridad en todas las fases de la vida de la central: emplazamiento, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, cese y desmantelamiento, y (3) la *función correctiva* supone la coerción justa de cualquier desviación, intencionada o no, que se observe en el cumplimiento de los requisitos vigentes por parte del titular. El CSN, imitando al organismo regulador estadounidense, la Nuclear Regulatory Commission, NRC, ha creado un procedimiento pionero de vigilancia continuada de la seguridad de cada central, llamado Sistema Integrado de Supervisión de Centrales, SISC, de gran eficacia.

1.4. La responsabilidad civil por daños a terceros y al medio ambiente. La generación de energía en la fisión del uranio engendra productos radiactivos que se van acumulando en el núcleo del reactor, el exceso de neutrones origina también productos de activación radiactivos. Tanto unos como otros emiten radiaciones nocivas para la salud de las personas y el medio ambiente en el caso de que puedan salir al exterior en caso de accidente. Para compensar tales daños, en el caso que se produzcan, se estableció muy tempranamente el concepto de responsabilidad civil por daños a terceros y al medio ambiente, que se ha consolidado en Reglamentos y Convenciones internacionales. En la actualidad se encuentra en proceso parlamentario una ley que revisará los preceptos ahora vigentes de acuerdo con la llamada Convención de París.

La figura 2 resume los conceptos antes expuestos, de donde se deduce que se ha creado un sistema de barreras administrativas múltiples en el entorno de las instalaciones nucleares, que garantizan la seguridad y la protección de las personas y del medio ambiente muy por encima de lo que es usual en otras actividades industriales de magnitud comparable.

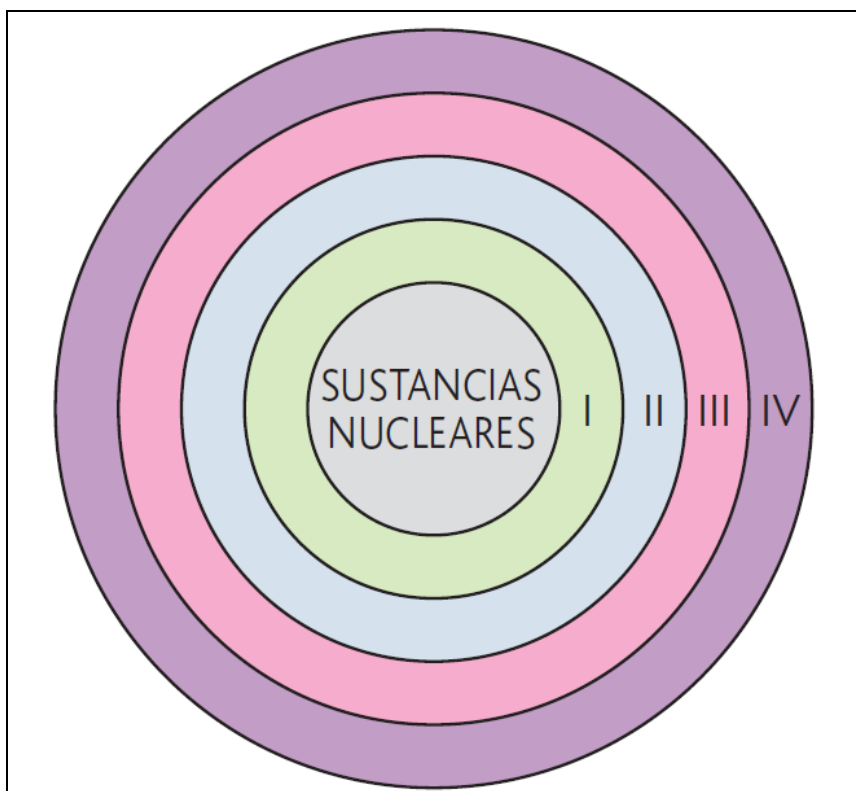


Figura 2. Para garantizar la seguridad el núcleo del reactor está protegido por barreras administrativas múltiples, que incluyen: la responsabilidad del titular, las funciones del Gobierno, la supervisión del Organismo Regulador y la revisión internacional. Además, está prevista por ley la compensación de los daños y perjuicios a las personas y al medio ambiente que la radiación pueda producir en caso de accidente.

2. Las actividades del titular. El tercer principio exige al titular que ejerza un liderazgo firme y realice una gestión efectiva de la seguridad. Este liderazgo se ejerce a través de la organización, desde el más alto puesto hasta el último, gestionando el conocimiento, creando una cultura de seguridad, realizando auto-evaluaciones frecuentes que cubran los sectores más relevantes, comunicando al Consejo de Seguridad Nuclear todos los hechos notificables regulados y analizando y corrigiendo sus causas raíces. Entre las numerosas actividades de los titulares se glosan las que siguen, que han surgido del análisis de la experiencia y el conocimiento que proviene de la investigación.

2.1. La retroalimentación de la experiencia operativa y la investigación. El accidente de la central de Three Mile Island, TMI-2, en Pensilvania en el año 1979, reveló la importancia del análisis de la experiencia operativa y la investigación sobre accidentes graves. Una situación similar se había presentado un mes antes en la central nuclear Davis Besse, también en Estados Unidos, pero en esta ocasión los operadores entendieron la anomalía y actuaron de la forma prevista; los operadores de la central

de Three Mile Island no se habían enterado de lo sucedido en David Besse y actuaron de forma contraria a lo previsto. Como consecuencia de estos hechos, los propietarios de las centrales nucleares de Estados Unidos crearon INPO, Instituto para la Operación de Centrales Nucleares, una de cuyas misiones consiste en la recogida, análisis y distribución de la experiencia operativa. También se inició un programa internacional de investigación, con participación nacional relevante, para entender los fenómenos asociados a los accidentes graves, cómo prevenirlos y mitigar sus consecuencias en el caso remoto de que se produzcan.

Con el mismo objetivo, en 1980, el Organismo Internacional de Energía Atómica y la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE crearon un nuevo sistema de revisión de la experiencia operativa, de carácter gubernamental, en el que participa España a través del Consejo de Seguridad Nuclear. Además, el CSN ha promulgado una instrucción específica que regula los llamados sucesos notificables, situaciones anómalas de cualquier tipo que el titular debe comunicar al Consejo de Seguridad Nuclear en tiempos determinados. Estos hechos y circunstancias son objeto de análisis y evaluación, además de ser corregidos en caso de que sea necesario. La lista de sucesos notificables y su importancia se publica en los Informes Anuales que el Consejo de Seguridad Nuclear envía al Congreso de los Diputados y al Senado.

2.2. La cultura de la seguridad. Los especialistas occidentales que escucharon en agosto de 1986, en la sede del OIEA en Viena, la confesión pública de las autoridades soviéticas sobre lo que había ocurrido en Chernobyl, terminada la confesión dictaminaron que la causa del desastre había sido la falta de cultura de seguridad en las autoridades y en los operadores de la central. El Grupo Asesor sobre Seguridad Nuclear del Organismo publicó uno de sus documentos más significativos, titulado ***Cultura de la seguridad***, que ha tenido una repercusión mundial; el concepto ha sido posteriormente recogido en otros documentos preceptivos e incorporado al cuerpo normativo nuclear de los países. En España, el Consejo de Seguridad Nuclear lo ha incorporado entre sus decisiones y los titulares nacionales lo aplican en sus centrales nucleares.

Como reacción al accidente de Chernobyl, en 1986, los propietarios de centrales nucleares crearon WANO, Asociación Mundial de Operadores Nucleares, que mantiene un sistema muy detallado de incidentes y de índices de explotación. Los titulares de las centrales nucleares españolas forman parte de la Asociación. Además,

existen sistemas multinacionales que agrupan países con tecnologías similares y nacionales.

2.3. *La escala internacional de sucesos nucleares y radiológicos, INES.* Con el objetivo de promover la transparencia y facilitar la comunicación y el entendimiento entre la comunidad nuclear, los medios de información y el público sobre la importancia para la seguridad de los sucesos ocurridos en las centrales nucleares, en 1990 el OIEA estableció la escala internacional de sucesos nucleares y radiológicos, INES, que se representa y auto-explica en la figura 3. La escala incluye siete niveles de gravedad creciente que clasifica los sucesos en dos grandes grupos: incidentes y accidentes. El Consejo de Seguridad Nuclear se adhirió al sistema desde su creación y ha contribuido a su perfeccionamiento. Las centrales nucleares españolas han registrado hasta la fecha 37 sucesos de nivel 1 y tres sucesos de nivel 2 en 250 años acumulados de operación, lo que da un índice de 15 incidentes de nivel 1 por cada cien años y 12 incidentes de nivel 2 por cada mil años de operación acumulada. Estos índices son comparables con los de otros países industrializados.

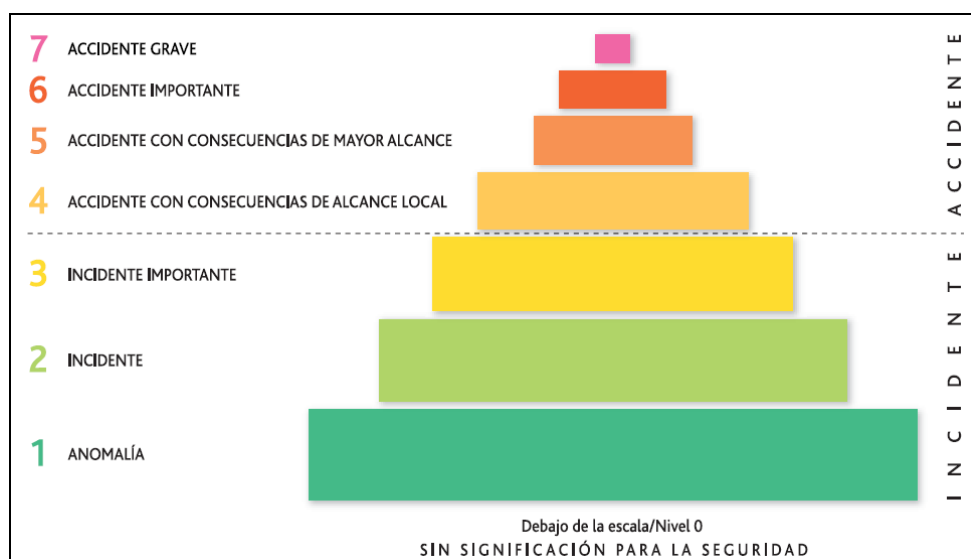


Figura 3. Escala internacional de sucesos nucleares y radiológicos, INES. El propósito fundamental de la escala INES es informar a la población sobre la gravedad de los sucesos anormales que pueden ocurrir en las instalaciones nucleares y en el uso de las radiaciones. En el caso de las centrales nucleares, los tres primeros niveles corresponden a anomalías que suponen un deterioro de la seguridad pero sin consecuencias radiológicas; los cuatro niveles superiores se refieren a accidentes que suponen la liberación de productos radiactivos al exterior de gravedad creciente por factores de diez.

2.4. La evaluación continuada de la seguridad y la revisión periódica de la seguridad nuclear. El tercer principio de los principios fundamentales de seguridad considera el 'liderazgo y gestión en pro de la seguridad', sugiere que la seguridad sea auto-evaluada de forma continua por la propia organización, tanto con carácter global por la dirección de la central, como por los jefes de los distintos departamentos en aquello que les atañe y por los individuos y los grupos de trabajo que realicen funciones específicas. Se recomienda también la evaluación interna independiente y la evaluación externa por pares homólogos del Organismo Internacional de Energía Atómica y la Asociación Mundial de Operadores Nucleares. El régimen de auto-evaluación se representa en la figura 4.

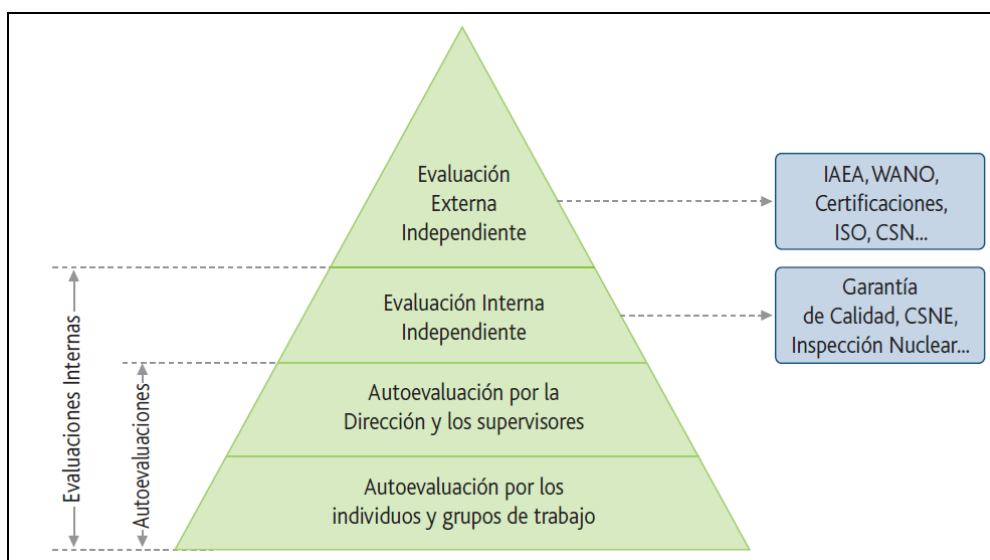


Figura 4. Pirámide del régimen de evaluaciones continuadas de la seguridad nuclear establecida por los titulares de las centrales nucleares españolas en cumplimiento de la normativa del CSN. En la cúspide se encuentran las evaluaciones internacionales realizadas por pares independientes que se realizan a petición del gobierno o en función de la pertenencia a instituciones internacionales; en los tres niveles inferiores se representan las auto-evaluaciones realizadas por el propio titular, ordenadas por orden decreciente de la autoridad que las requiere, pero creciente en cuanto al detalle.

Además, el Consejo de Seguridad Nuclear, siguiendo recomendaciones internacionales, ha establecido la Revisión Periódica de Seguridad cada 10 años, que ha ligado, de forma pionera, con la prórroga de las autorizaciones de explotación. Esta Revisión Periódica de Seguridad añade, como requisito más destacable, el análisis y la gestión de los mecanismos de envejecimiento de las estructuras, sistemas y componentes de la central para demostrar que la central puede operar de forma

segura durante el decenio siguiente. Este nuevo proceso se aplicó en la solicitud de la prórroga de la autorización de explotación, hasta el año 2019, formulada por Nuclenor para la central nuclear de Santa María de Garoña, que el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio limitó de forma inesperada y no convincente hasta el año 2013.

3. La tecnología de las centrales nucleares españolas. El parque nuclear actual incluye reactores de agua ligera, tanto de agua a presión, seis unidades, como de agua en ebullición, dos unidades. Los reactores de agua en ebullición corresponden a los tipos General Electric Modelo II en contención Mark I, de 460 MWe de potencia nominal: la central de Santa María de Garoña, y General Electric Modelo IV en contención Mark III, de 975 MWe de potencia nominal: la central de Cofrentes. De los reactores de agua a presión, cinco tienen diseño Westinghouse de tres circuitos y potencias nominales de 930 MWe: las centrales de Almaraz I y II, Ascó I y II y Vandellós II, mientras que la sexta es un diseño alemán, tipo Konvoi, de tres circuitos y potencia nominal 1030 MWe: la central de Trillo.

Los márgenes incorporados en el diseño de estas centrales y los avances tecnológicos consolidados han permitido que las centrales del parque nacional hayan aumentado su potencia, como así se ha hecho en otros países. Las ventajas para la seguridad de haber elegido estos modelos residen en haber podido definir centrales de referencia en el país de origen del proyecto, disponer de la experiencia de construcción y explotación de centrales similares, tener acceso a abundante documentación técnica y administrativa y haber podido mantener una estrecha relación con las organizaciones industriales y reguladoras de tales países. Los esquemas de los tipos de centrales en explotación en España se incluyen en las figuras 5 y 6.

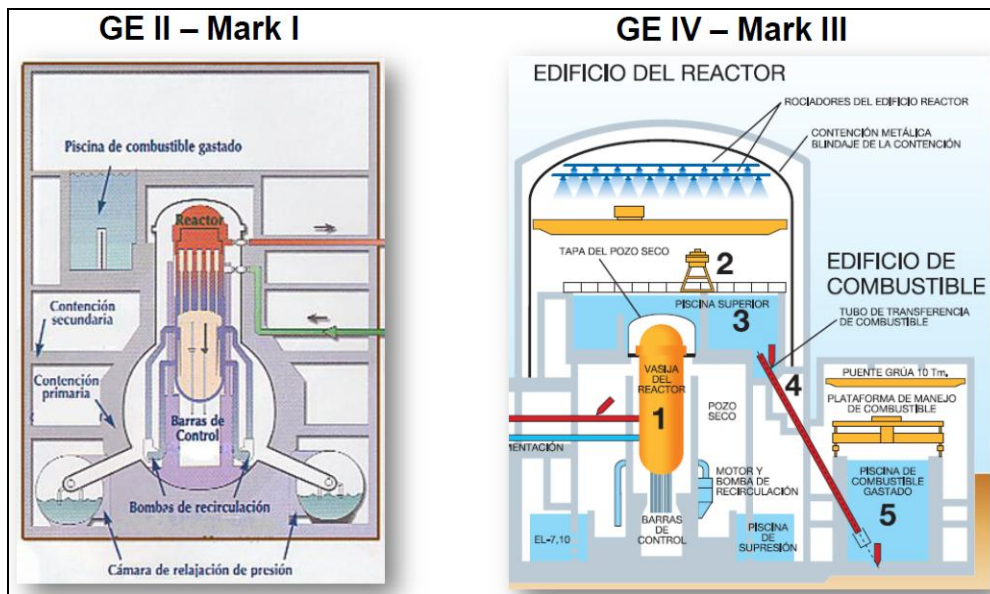


Figura 5. Representación esquemática del modelo GE/BWR 2 incorporado en la central de Santa María de Garoña y del modelo GE/BWR 6 de la central de Cofrentes.

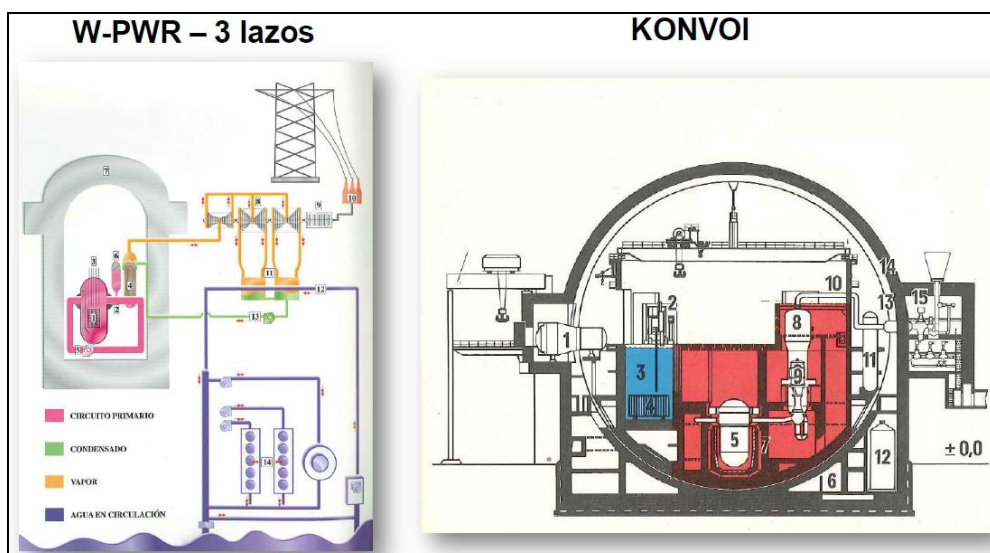


Figura 6. Representación esquemática del modelo W-3 circuitos usado en las centrales de Almaraz, Ascó y Vandellós, y del modelo Konvoi de la central de Trillo.

4. La seguridad nuclear. La seguridad nuclear tiene como objetivo fundamental prevenir la aparición de anomalías que puedan desembocar en accidentes, impedir que se propaguen y den lugar a secuencias accidentales y mitigar la gravedad del accidente en el caso de que se produzca. Existen conceptos fundamentales y procedimientos analíticos avanzados que se usan normalmente para estimar la seguridad de las centrales nucleares.

4.1. *El concepto de defensa en profundidad.* El principio octavo de los Principios Fundamentales del OIEA se refiere a la prevención de accidentes. La mejor manera de prevenir accidentes, y mitigar sus consecuencias en el caso que se produzcan, consiste en aplicar el criterio de la *defensa en profundidad* o defensa a ultranza o por encima de todo. A tal fin, los productos radiactivos han de estar siempre encerrados en el interior de barreras físicas que, a su vez, están protegidas por sistemas y procedimientos de seguridad que impiden la rotura simultánea o sucesiva de las barreras físicas que se representan en la figura 7. Para conseguir que dichas barreras mantengan su integridad, es necesario mantener bajo control la reacción nuclear y conservar el núcleo refrigerado en cualquier modo de operación, incluyendo las condiciones accidentales.

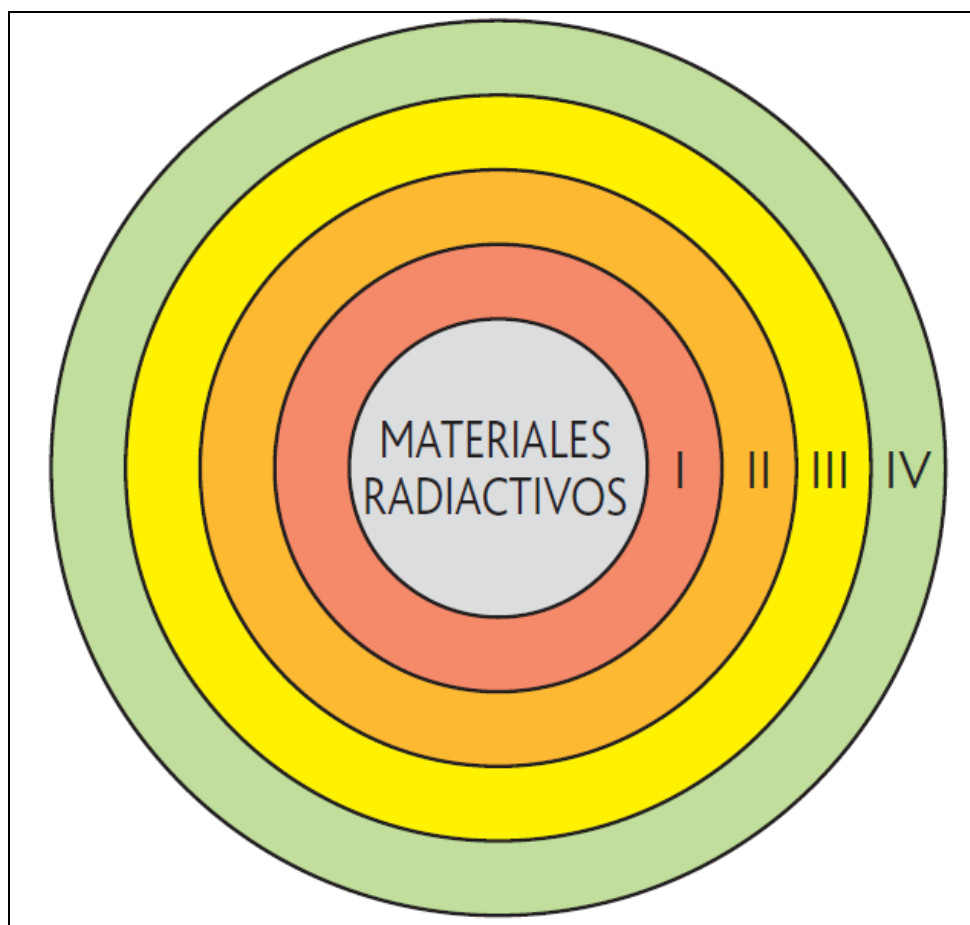


Figura 7. Barreras de contención de los productos radiactivos. La vaina de las varillas combustible retiene los productos radiactivos de fisión, que representan el 98 % de la radiactividad total. La barrera de presión del refrigerante retiene los productos radiactivos de activación, el 2% restante. El recinto de contención debe ser capaz de retener, de forma segura, los productos radiactivos de fisión y de activación que se liberen como consecuencia de la rotura de las dos primeras barreras.

4.2. Métodos analíticos para evaluar la seguridad. La aproximación determinista a la seguridad nuclear considera aceptable el diseño de una central nuclear si un conjunto postulado de circunstancias accidentales, llamados accidentes previsibles, no produciría consecuencias radiológicas inaceptables. En la metodología probabilista, basada en la inferencia estadística, un diseño se da por bueno si, dado un conjunto posible de sucesos iniciadores de una situación anómala, la probabilidad de que se propague, por fallo del equipo o errores humanos, y cause daños en el combustible es inferior a una vez por cada cien mil de operación.

5. Estimadores de la seguridad. La observación directa de la aparición de anomalías o defectos en los componentes y sistemas que son relevantes para la seguridad proporciona estimadores del nivel de seguridad de la central. El CSN ha desarrollado y puesto en práctica un conjunto de estimadores de seguridad, cuyos resultados se incluyen en el informe que el Organismo remite cada año al Congreso de Diputados y al Senado. La institución WANO también ha establecido un conjunto detallado, que incluye tanto las buenas prácticas como los malos resultados. Con fines ilustrativos se han seleccionado algunos índices, para el conjunto de las centrales del parque nacional y se han comparado con las del resto del mundo.

5.1. El factor de indisponibilidad no programada. Este indicador mide la relación entre la energía no producida por paradas o reducciones de potencia no programadas y la que se hubiese producido si la central hubiese funcionado a la potencia nominal. La figura 8 representa tal evolución y comparación con las centrales del sistema WANO. El aumento que se observa entorno al año 2006 se debe a la larga parada de la central de Vandellós II como consecuencia de la construcción del nuevo sistema de agua de refrigeración de los servicios esenciales.

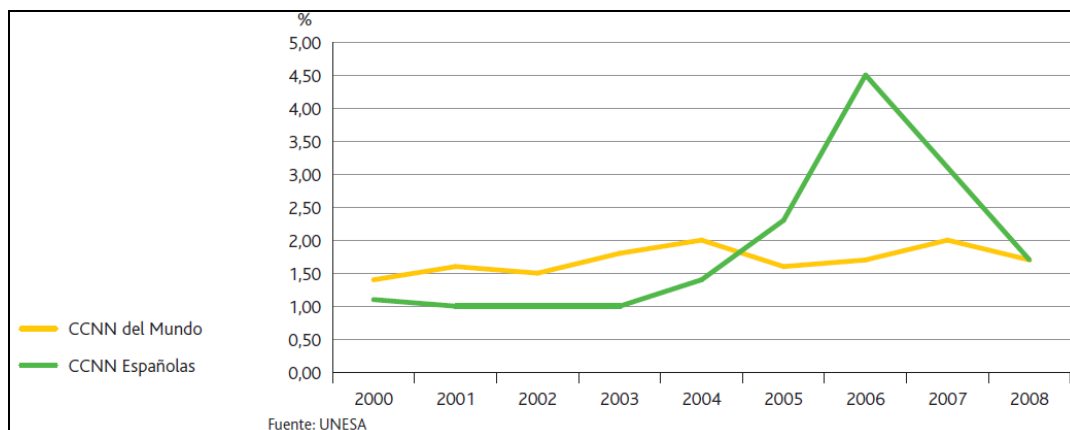


Figura 8. Evolución de los factores medios de indisponibilidad no programada de las centrales nucleares españolas y de las centrales que participan en el sistema WANO. El mayor valor encontrado entre los años 2005 a 2007 se debe a las largas paradas de la central de Vandellós II como consecuencia de las mejoras introducidas en el sistema de refrigeración de los servicios esenciales. Los datos correspondientes al sistema WANO son menos sensibles a las circunstancias individuales al promediar un número grande de centrales nucleares.

5.2. *Los índices de disponibilidad de algunas salvaguardias tecnológicas.* Los índices de indisponibilidad de los sistemas de inyección de agua a alta presión, del sistema de agua de alimentación auxiliar y de los generadores diésel de emergencia se estiman dividiendo la suma de los tiempos de indisponibilidad de sus componentes, por cualquier motivo, por el tiempo que el sistema debería haber estado disponible y por el número de subsistemas redundantes del conjunto. Cuanto más pequeño sea el índice correspondiente mejor es la situación. En las figuras 9, 10 y 11 se observa que los valores de dichos índices son comparables con los de otras centrales. Las mayores fluctuaciones del caso español se deben al menor número de unidades que entran en la determinación del valor medio.

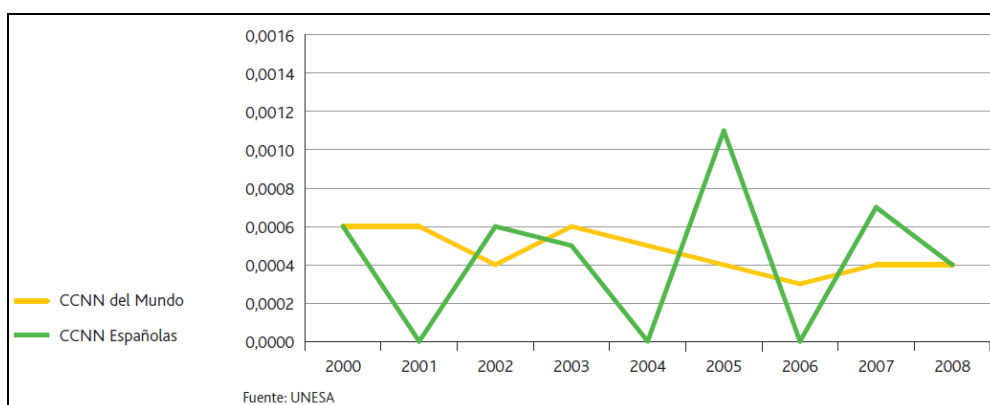


Figura 9. Evolución del indicador de funcionamiento de los sistemas de inyección de agua de refrigeración a alta presión de las centrales nucleares españolas y de las centrales que participan en el sistema WANO. Este sistema debe ser redundante de modo que el índice se obtiene dividiendo por el número de sistemas redundantes la relación entre los tiempos de

indisponibilidad de los componentes y el tiempo que el sistema redundante ha de estar operable. La situación es tanto mejor cuanto más pequeño es el indicador de funcionamiento.



Figura 10. Evolución del indicador de funcionamiento del sistema auxiliar de agua de alimentación de las centrales nucleares españolas y de las centrales que participan en el sistema WANO. Este sistema debe ser redundante de modo que el índice se obtiene dividiendo por el número de sistemas redundantes la relación entre los tiempos de indisponibilidad de los componentes y el tiempo que el sistema redundante ha de estar operable. La situación es tanto mejor cuanto más pequeño es el indicador de funcionamiento.

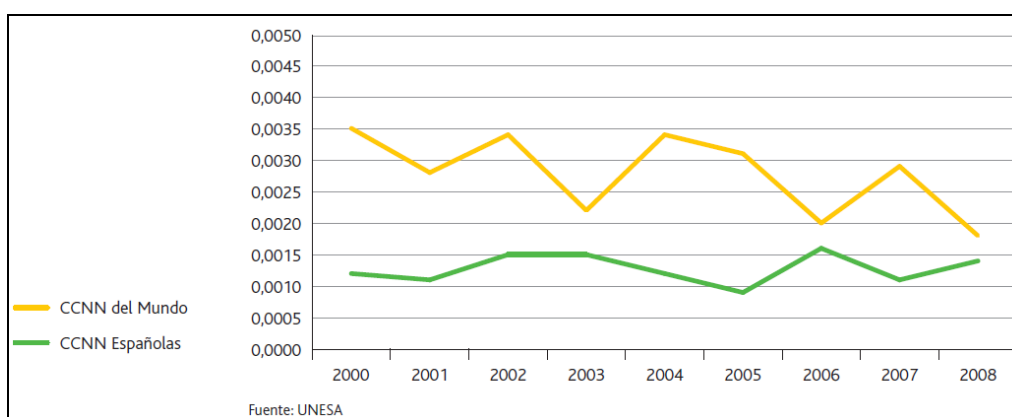


Figura 11. Evolución del indicador de funcionamiento de los generadores diésel de emergencia de las centrales nucleares españolas y de las centrales que participan en el sistema WANO. Estas máquinas han de estar duplicadas o triplicadas de modo que el índice se obtiene dividiendo por el número de generadores disponibles la relación entre los tiempos de indisponibilidad de algún equipo y el tiempo que el conjunto ha de estar operable. La situación es tanto mejor cuanto más pequeño es el indicador de funcionamiento

6. La seguridad radiológica de las centrales españolas. La seguridad radiológica tiene como objetivo fundamental limitar a valores aceptables las dosis de radiación que pueden recibir los trabajadores y el público en general y reducir a valores tolerables los vertidos radiactivos de las centrales nucleares en cualquiera de los modos de operación, incluida la emergencia nuclear.

6.1. La evolución de las dosis de radiación que recibe el personal de explotación. La protección de los trabajadores expuestos a la radiación por razón de su profesión se basa sobre tres principios fundamentales, que forman parte de los principios fundamentales de seguridad del OIEA: la *justificación* del trabajo que se realiza, la *optimización* de los medios utilizados para que la dosis de radiación sea la menor posible y la *limitación* de la dosis que un trabajador pueda recibir al año. Estos tres principios están aceptados universalmente.

La unidad que mide el deterioro que produce la radiación en el cuerpo humano se llama *Sievert*, que es una unidad muy grande, por lo que generalmente se usa la milésima parte, es decir, el *milisievert*. Los trabajadores expuestos a la radiación por razón de su profesión no deben recibir más de 100 milisieverts en cinco años consecutivos. Es un caso muy excepcional que un trabajador supere los límites establecidos; por ello, también se utiliza como índice de bondad la llamada dosis colectiva, que es la suma de todas las dosis recibidas al año por el colectivo de trabajadores de una central nuclear determinada o del conjunto del parque de un país, cuya unidad de medida es el *Sievert-persona*. En la figura 12 se muestra la evolución temporal de las dosis recibidas por el colectivo español de trabajadores expuestos y cómo se comparan los datos nacionales con los de otros países. La tendencia a disminuir que se observa en todos los casos se debe a la mejora en los medios y normas de protección y a la aplicación del principio de la optimización.

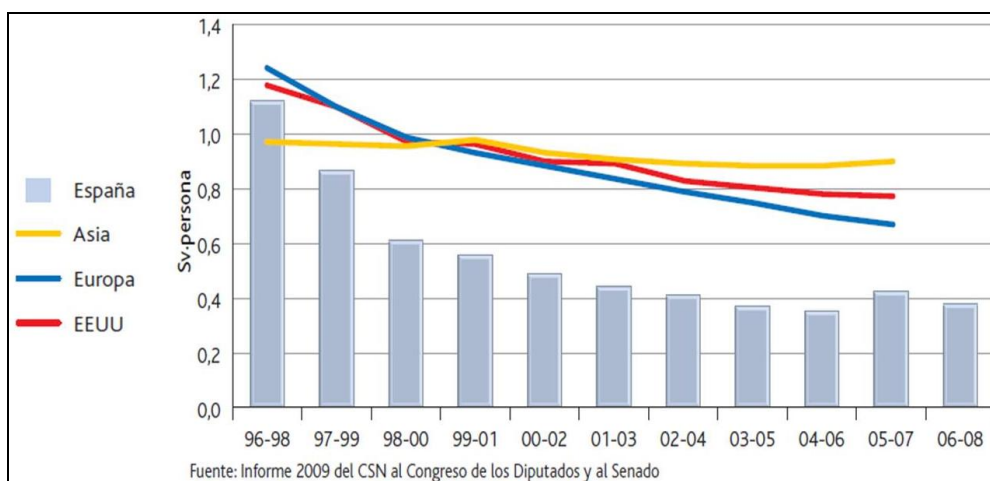


Figura 12. Evolución de las dosis colectivas medias, por central, recibidas anualmente por los trabajadores de las centrales nucleares españolas y comparación con los datos en las centrales europeas, de Estados Unidos y de las centrales que se incorporan en el sistema WANO (la mayor parte de las centrales nucleares del mundo)

6.2. *El impacto radiológico ambiental.* Es también objetivo fundamental de la protección radiológica proteger a la población y al medio ambiente de los vertidos radiactivos durante la explotación de la central. Aunque la central dispone de medios muy efectivos para consolidar en matrices sólidas y seguras los residuos radiactivos que se generan en la explotación, las propiedades de algunos elementos químicos, tales como los gases nobles, el tritio y el yodo, y otros elementos volátiles, hacen que no puedan ser retenidos completamente. Se vierten cantidades muy pequeñas de tales isótopos al exterior de forma controlada, siempre por debajo de los límites establecidos por el Consejo de Seguridad Nuclear. Las descargas se miden en Gigabequerelios, GBq, normalizados a la energía producida en Gigavatios-hora, GWh. El bequerelio es la unidad de radiactividad y corresponde a una transformación nuclear por segundo; en cada transformación se desprenden radiaciones.

Las descargas de tritio, un isótopo del hidrógeno que sustituye a éste en la molécula de agua, el yodo-131 y los gases nobles, fundamentalmente criptón-85, se incluyen en la selección que se muestra en las figura 13 y 14, correspondientes a reactores PWR y BWR respectivamente, donde también se comparan los datos nacionales con los del conjunto de la Unión Europea y Estados Unidos, tanto para reactores de agua a presión como de agua en ebullición. En todos los casos se observan tendencias temporales hacia la disminución, sin duda fruto de las mejoras en el sistema de tratamiento de los residuos

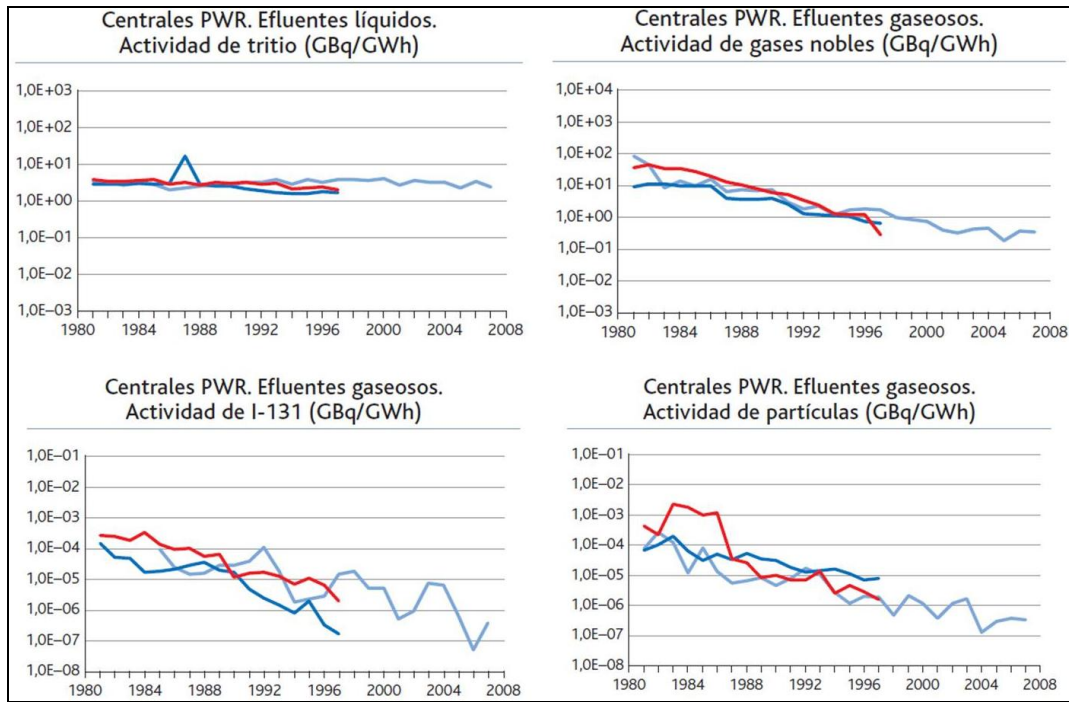


Figura 13. Evolución temporal de la actividad media de los efluentes líquidos y gaseosos emitidos por las centrales nucleares con reactor PWR durante la explotación normal y comparación con los valores correspondientes a las centrales del mismo tipo en las centrales europeas y de Estados Unidos. Se observa la constancia del tritio en los efluentes líquidos y la disminución paulatina de los contaminantes gaseosos y en forma de partículas.

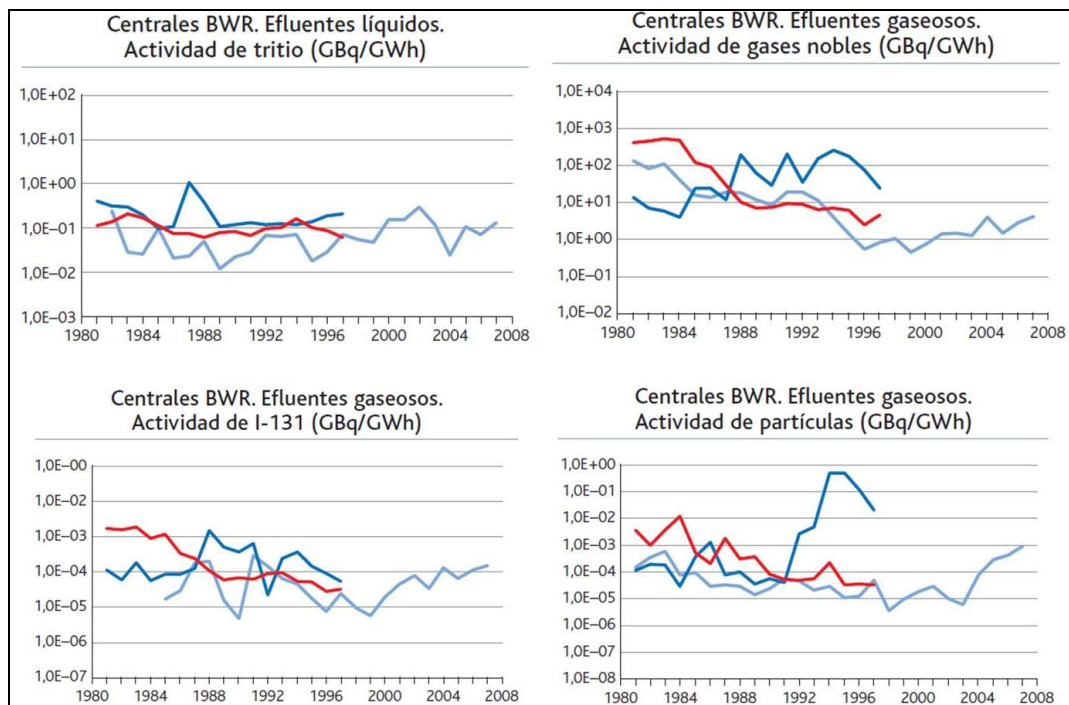


Figura 14. Evolución temporal de la actividad media de los efluentes líquidos y gaseosos emitidos por las centrales nucleares con reactor BWR durante la explotación normal y comparación con los valores correspondientes a las centrales del mismo tipo en las centrales europeas y de Estados Unidos. Se observa la constancia del tritio en los efluentes líquidos y la disminución paulatina de los contaminantes gaseosos y en forma de partículas.

europas y de estados Unidos. Se observa la constancia del tritio en los efluentes líquidos y la disminución paulatina de los contaminantes gaseosos y en forma de partículas.

6.3. *El impacto sobre la salud de las personas.* El impacto de estas descargas se mide a través de un sistema muy completo de vigilancia de la radiactividad ambiental, controlado por el Consejo de Seguridad Nuclear, que contempla para cada central las vías de exposición de las personas a la radiación que incluye la radiación externa por fotones y partículas beta procedentes de productos radiactivos en el aire, el suelo y las aguas superficiales, así como la irradiación interna por inhalación de aire contaminado o ingestión de agua y alimentos contaminados. La figura 15 representa de forma esquemática las posibles vías de exposición a la radiación.

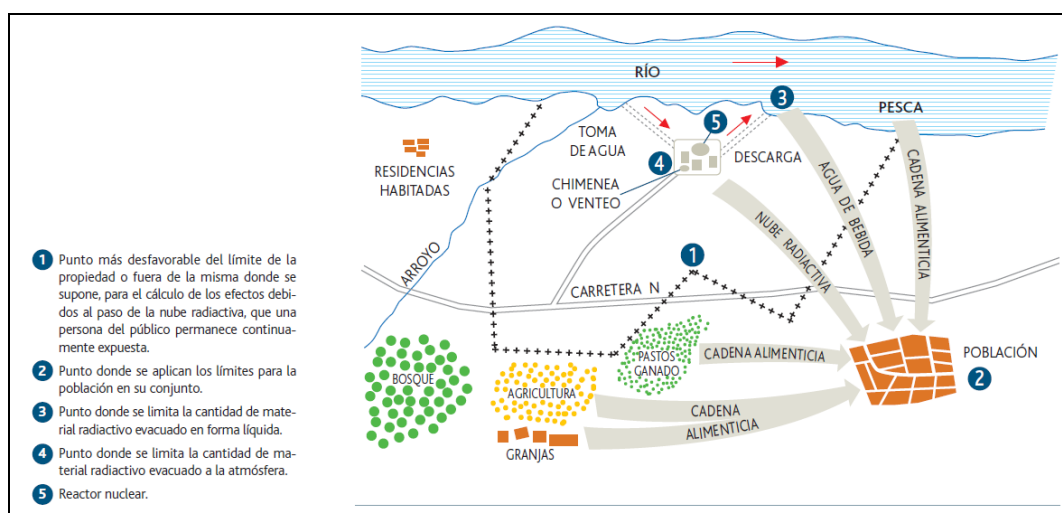


Figura 15. Representación esquemática de las vías de exposición de la población a los efluentes radiactivos procedentes de la central nuclear.

La evaluación de las dosis potencialmente recibidas por las personas sigue una pauta bien establecida, que mayor los resultados al generalizar el caso peor, generalmente el de una persona que habite en la verja de la central y sólo se alimente con productos y beba agua de la zona afectada. El potencial impacto de estos vertidos sobre la salud y seguridad de las personas afectadas se ha analizado en el reciente estudio epidemiológico realizado por el Consejo de Seguridad Nuclear y el Instituto de Salud Carlos III del Ministerio de Ciencia e Innovación, en el que se concluye que no se han podido detectar efectos negativos sobre la salud de las personas potencialmente

afectadas como resultado de los vertidos procedentes de las centrales nucleares españolas.

6.4. *La planificación de emergencias nucleares.* El principio noveno de los principios fundamentales del OIEA requiere el establecimiento de un plan de emergencia que proteja a la población en el caso remoto de que produzca un escape incontrolado de productos radiactivos al exterior. A tal fin, mediante decreto, el Gobierno ha establecido un Plan Básico de Emergencia Nuclear, PLABEN, que se ha desarrollado en planes específicos aplicables a cada una de las centrales del parque. La responsabilidad de la ejecución corresponde a las autoridades locales, provinciales, autonómicas y nacionales, dependiendo de la magnitud del accidente. La protección de las personas se consigue mediante la evacuación de las personas potencialmente afectadas, la permanencia de las personas en lugares cerrados, la descontaminación y la administración de pastillas de yoduro potásico para proteger la glándula tiroides de los efectos del yodo radiactivo. Las zonas de planificación se representan en la figura 16.

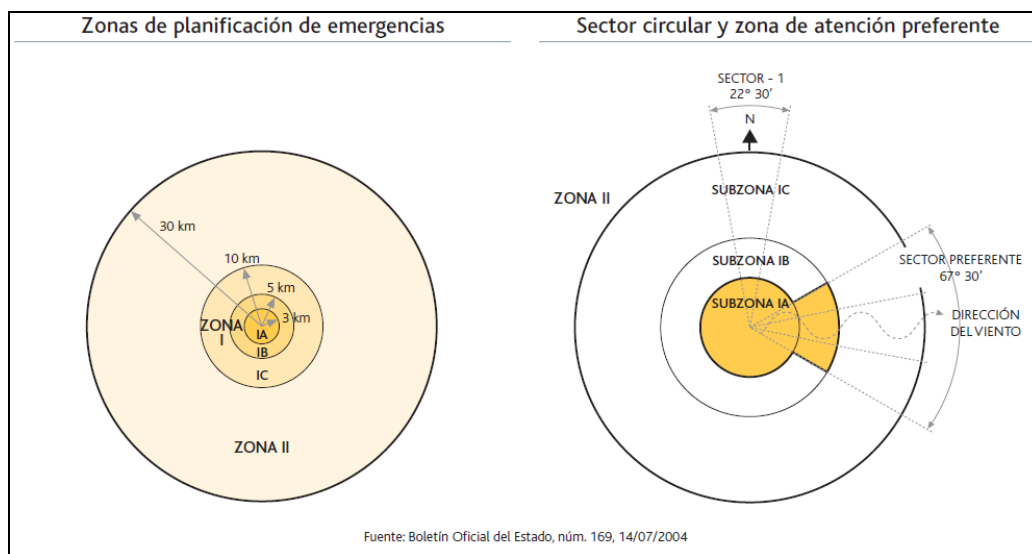


Figura 16. Zonas de planificación de emergencias nucleares. La zona I o zona de medidas urgentes de protección requiere la evacuación temprana de las personas que habiten en un radio de tres kilómetros y hasta cinco kilómetros de un sector de 67° 30' en la dirección del viento y, si fuese necesario, la evacuación o permanencia en lugares cerrados de las personas que vivan en un radio de 10 kilómetros. La zona II o zona de protección de larga duración, de 30 kilómetros de radio concéntrica con la anterior, requiere medidas de protección de la población en el caso de se hayan contaminado los suelos y las aguas. Las autoridades deberán tomar medidas especiales de considerarlo necesario.

7. La gestión de los residuos radiactivos. El principio octavo de los principios fundamentales de seguridad del OIEA se refiere a la protección de las generaciones presentes y futuras, lo que exige la gestión segura de los residuos radiactivos que se generan en la operación y del combustible usado en el reactor. Los residuos de baja y media actividad producidos en la operación se acondicionan en bidones y contenedores que la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, Enresa, transporta hasta el almacenamiento definitivo de El Cabril, en la provincia de Córdoba. La evolución del número de bultos es también una medida de la seguridad de la central, ya que la disminución del número de bultos indica un mejor funcionamiento del combustible, menos fugas de refrigerante y menos reparaciones y sustituciones de equipos, así como una mejor gestión de los residuos por parte del titular. En la figura 17 se representa la evolución temporal del número de bultos producidos; el descenso que se aprecia a partir de 1998 se debe a los procesos de optimización requeridos para el almacenamiento definitivo en El Cabril. Por otro lado, el combustible usado no puede ser considerado como un residuo, sino como un banco de energía que debe ser guardado hasta que sea conveniente aprovechar el combustible nuclear remanente y el que se ha producido durante el proceso de utilización. De momento, estos combustibles usados se almacenan en las piscinas de desactivación y en almacenamientos temporales de las centrales.

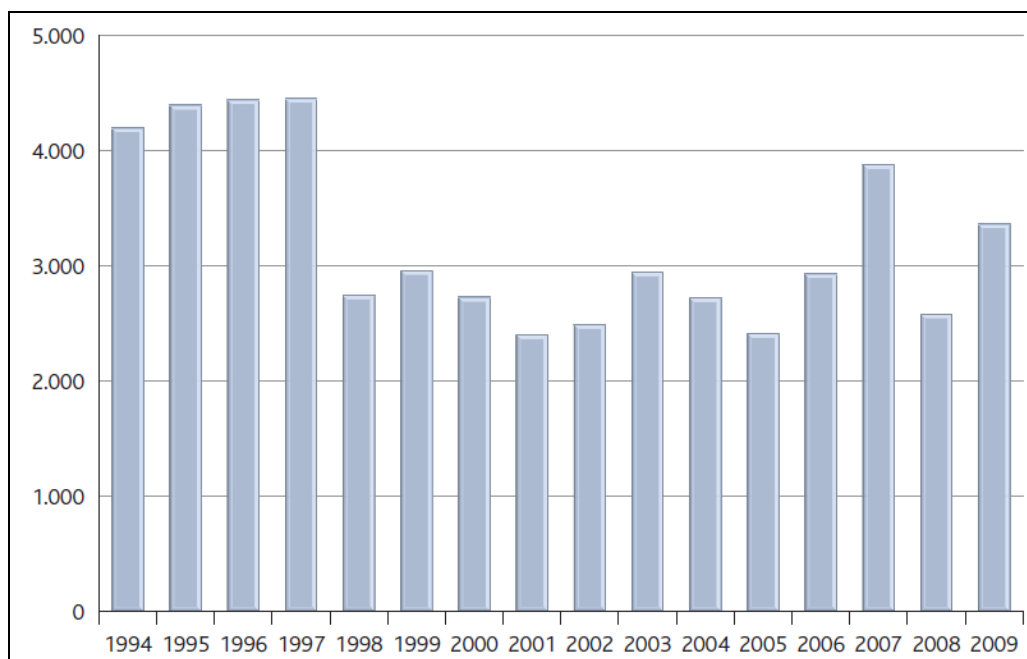


Figura 17. Evolución del número de bultos de residuos de explotación generados por año por las centrales nucleares españolas. Los bultos son bidones normalizados de 210 litros de

capacidad. Los residuos se encuentran incorporados en una matriz de hormigón que satisface los requisitos establecidos por Enresa.

8. Resumen. Aparte de proporcionar datos y detalles sobre la seguridad de las centrales del parque nuclear nacional, el lector del documento publicado por el Foro Nuclear tiene razones para estimar que:

Los sucesivos gobiernos nacionales, desde la promulgación en el año 1964 de la ley sobre energía nuclear, hasta la revisión en 2007 de la Ley de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear, han creado un marco jurídico satisfactorio en armonía con los principios y la práctica internacional.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha establecido un conjunto satisfactorio de reglamentación técnica, un sistema efectivo de vigilancia continuada de la seguridad de las centrales nucleares y un procedimiento justo de coerción y corrección de cualquier desviación de los requisitos establecidos.

Los titulares de las centrales nucleares han aceptado plenamente la responsabilidad primordial de la seguridad y se han comprometido a conseguir la excelencia en la seguridad y operación de sus centrales, cuyos indicadores se mantienen entre los mejores a nivel internacional.

La gestión definitiva de los residuos radiactivos de baja y media actividad y de muy baja actividad se ha resuelto de forma satisfactoria a través de la buena gestión realizada por Enresa. La gestión del combustible usado, aún pendiente, debe ser considerada con atención.