

Evolución de las dosis ocupacionales en las centrales nucleares españolas y su comparación en el contexto internacional de los países del ISOE

Informe INTERDOS 2000-2008

CSN

Colección
Documentos
19.2011

Evolución de las dosis ocupacionales en las centrales nucleares españolas y su comparación en el contexto internacional de los países del ISOE

Informe INTERDOS 2000 - 2008

Miguel Ángel de la Rubia Rodiz, Teresa Labarta Mancho,
Manuel Rodríguez Martí

Colección: Documentos CSN

Referencia DOC-07.12

© Copyright 2011, Consejo de Seguridad Nuclear

Edita y distribuye:

Consejo de Seguridad Nuclear

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 - Madrid-España

<http://www.csn.es>

peticiones@csn.es

Maquetación: Pilar Guzmán

Índice

Objeto y alcance	5
Introducción	9
I. Datos e información de referencia	15
II. La exposición ocupacional en el ámbito ISOE. Marco comparativo.....	19
III. La exposición ocupacional en España en relación con el ámbito ISOE.....	27
III.1. Exposición ocupacional media en España frente al ámbito ISOE.....	29
III.2. Exposición ocupacional media de los reactores PWR en España frente a reactores PWR del ámbito ISOE.....	33
III.3. Exposición ocupacional media de los reactores BWR en España frente a reactores BWR del ámbito ISOE	40
IV. Análisis individualizados de las centrales nucleares españolas	49
IV.1. Centrales BWR	51
IV.1.1. Central nuclear de Santa María de Garoña	51
IV.1.2. Central nuclear de Cofrentes	58
IV.2. Centrales PWR	67
IV.2.1. Primera generación de reactores PWR	68
IV.2.1.1. Central nuclear José Cabrera.....	68
IV.2.2. Segunda generación de reactores PWR.....	72
IV.2.2.1. Central nuclear de Almaraz (I y II)	74
IV.2.2.2. Central nuclear de Ascó (I y II)	81
IV.2.3. Tercera generación de reactores PWR	91
IV.2.3.1. Central nuclear Vandellós II	91
IV.2.3.2. Central nuclear de Trillo.....	98
V. Conclusiones	105
V.1. La exposición ocupacional en el mundo: ámbito ISOE ..	108
V.2. La exposición ocupacional en España en relación con el ámbito ISOE	109

Objeto y alcance

Objeto y alcance

El objeto de este informe Interdós es presentar la evolución de la exposición ocupacional de las centrales nucleares españolas durante el período 2000-2008 dentro del contexto internacional, con el propósito de disponer de una

información contrastada que permita valorar la extensión de la aplicación de los criterios Alara en las centrales nucleares españolas e identificar aquellas áreas de atención preferente. Este documento sigue, por tanto, la línea de los anteriores informes Interdós de los años 1993, 1995 y 2000 (referencias 1, 2 y 3).

Introducción

Introducción

La reducción de la exposición ocupacional en las centrales nucleares y el establecimiento de programas que persigan este objetivo de reducción de dosis es deseable, no sólo porque afecta a la salud y la seguridad del personal que trabaja en la planta, sino también porque contribuye a mejorar la seguridad, fiabilidad, eficacia y economía de la operación de la misma. En la consecución de estos objetivos, una de las condiciones básicas es la disponibilidad de datos sobre la exposición ocupacional y sobre métodos y técnicas para reducirla.

A nivel mundial, de forma general, las exposiciones ocupacionales en las centrales nucleares han experimentado un continuo descenso en la pasada década. Los requerimientos de las autoridades reguladoras, particularmente desde la publicación de la ICRP-60 en 1990, los avances tecnológicos, las mejoras introducidas en los diseños de las plantas, la mejora de la química del agua y de los procedimientos operacionales han contribuido a esta tendencia descendente.

Sin embargo con el envejecimiento del parque nuclear en el mundo, la tarea de mantener las exposiciones ocupacionales en niveles bajos presenta una dificultad creciente. Además las presiones económicas han producido que los directores de operación de las plantas hayan racionalizado las recargas y operacio-

nes de mantenimiento en lo posible, añadiendo cuestiones de programa y presupuestarias a la tarea de reducir las exposiciones operacionales.

En respuesta a estas presiones, los expertos de protección radiológica encontraron que las exposiciones ocupacionales pueden ser convenientemente reducidas mediante la planificación, preparación, seguimiento y revisión de los trabajos, mediante la aplicación de técnicas de gestión de trabajos que aseguran que dichas exposiciones resultan “tan bajas como razonablemente sea alcanzable (Alara)”.

Uno de los modos de evaluar la capacidad de la dirección de una central nuclear para reducir las dosis ocupacionales es analizar la evolución de las dosis ocupacionales en el contexto histórico de evolución de la planta. Para una mejor comprensión, dicho análisis deber realizarse en varios contextos. Por un lado el contexto nacional de los reactores de su mismo tipo y por otro en un contexto internacional. El análisis se completa con una comparación específica con centrales similares o centrales hermanas.

El objeto de este informe Interdós es, por tanto, presentar la evolución de la exposición ocupacional de las centrales nucleares españolas en el período comprendido entre 2000-2008 con referencia al contexto nacional y al contexto internacional, con el propósito de disponer de una información contrastada;

valorar la extensión de la aplicación de los criterios Alara, e identificar aquellas áreas de atención y actuación preferente.

Además de la continuidad en la implantación del principio Alara a través de la planificación, seguimiento y análisis de los trabajos, que había comenzado en la década de los 90, durante el período de estudio del presente informe, en España han ocurrido hitos en el mundo de la protección radiológica, principalmente a nivel normativo que han contribuido a facilitar el que las dosis sean Alara.

A nivel normativo destaca la publicación del nuevo Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSRI), Real Decreto 783/2001, que suponía la transposición de la Directiva 96/29 Euratom. Asimismo, durante el período 2000-2008 se han publicado las siguientes instrucciones del CSN directamente relacionadas con la Protección Radiológica Ocupacional:

- *Instrucción IS-01* por la que se define el formato y contenido del documento individual de seguimiento radiológico (carné radiológico) regulado en el Real Decreto 413/1997 (BOE, 6 de agosto de 2001).
- *Instrucción IS-02*, sobre documentación de actividades de recarga en centrales nucleares de agua ligera (BOE, 15 de septiembre de 2004).
- *Instrucción IS-03* sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes (BOE, 12 de diciembre de 2002).
- *Instrucción IS-04* por la que se regulan las transferencias, archivo y custodia de los documentos correspondientes a la protección radiológica de los trabajadores, público y medio ambiente, de manera previa a la transferencia de titularidad de las prácticas de las centrales nucleares que se efectúe con objeto de su desmantelamiento y clausura (BOE, 28 de febrero de 2003).
- *Instrucción IS-06* por la que se definen los programas de formación en materia de protección radiológica básico y específicos regulados en el Real Decreto 413/1997, de 21 de marzo, en el ámbito de las instalaciones nucleares e instalaciones radiactivas del ciclo del combustible (BOE, 3 de junio de 2003). Con fecha 28 de octubre de 2004, el CSN remitió una circular informativa a todas las empresas externas aclarando algunos aspectos de la aplicación práctica de esta instrucción.
- *Instrucción IS-08* del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre los criterios aplicados por el CSN para exigir, a los titulares de las instalaciones nucleares y radiactivas, el asesoramiento específico en protección radiológica (BOE, 5 de octubre de 2005).

- *Instrucción IS-10* por la que se establecen los criterios de notificación de sucesos al Consejo por parte de las centrales nucleares (BOE, 3 de noviembre de 2006).

En el contexto de la implantación del nuevo RPSRI, destaca por su importancia no sólo en este período, sino también desde un punto de vista histórico la creación de un grupo de trabajo con la finalidad de armonizar el contenido y alcance de los manuales de protección radiológica de las centrales españolas a través de la elaboración de un documento genérico que supuso la revisión general de textos anteriores para su adaptación a las nuevas disposiciones del Real Decreto 783/2001. El mencionado grupo inició sus actividades en febrero de 2000 y las concluyó en diciembre de 2001 estando constituido por todos los jefes de Servicio de Protección Radiológica de las centrales nucleares españolas y por el personal de la Subdirección de Protección Radiológica Operacional con responsabilidades de evaluación e inspección en temas de Protección Radiológica Ocupacional en centrales nucleares.

Fruto del trabajo desarrollado se logró el establecimiento de nuevos valores y niveles para aspectos relativos a la protección de trabajadores y público en general, y la inclusión de nuevos aspectos que han sido traspasados a

los correspondientes manuales de protección radiológica, como son:

- Establecimiento de valores límites y niveles de referencia para cada una de las zonas radiológicas en términos de tasa de dosis, contaminación ambiental y contaminación superficial.
- Niveles de referencia para dosimetría externa, interna y contaminación superficial.
- Regulación de las condiciones de acceso y permanencia de las visitas a zonas radiológicas.
- Valores nuevos para LIA (Límite de Incorporación Anual) y LDCA (Límite Derivado de Concentración en Aire) resultantes de considerar un límite de dosis anual de 20 mSv y un año laboral de 2.000 horas.
- Criterios para reutilización de vestuario y equipos de protección.

Por último, mencionar como hito de este período la creación de un grupo mixto en 2004 para establecer el nuevo Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC). Durante 2006, el SISC funcionó como programa piloto, comenzó su implantación oficial en 2007 y alcanzó su pleno funcionamiento en 2008.

I. Datos e información de referencia

I. Datos e información de referencia

Los datos de exposiciones ocupacionales utilizados en el presente informe se han obtenido de la base de datos de exposiciones ocupacionales del Programa ISOE.

El Sistema de Información de Exposiciones Ocupacionales (ISOE, Information System on Occupational Exposure) es una red de comunicaciones entre participantes tanto de los explotadores de centrales nucleares (públicas y privadas) como de las autoridades reguladoras nacionales, a la vez que como un programa para adquisición, análisis y divulgación de los datos de exposición ocupacional. Desde 1993 la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA) patrocina el Programa ISOE permitiendo la participación de centrales y autoridades reguladoras de los países no miembros de la OCDE/NEA, habiéndose creado un Secretariado conjunto NEA/IAEA. A finales de 2008, el Programa ISOE incluía datos de 397 centrales en operación pertenecientes a 29 países lo que representa en torno al 90% de los reactores comerciales operativos en el mundo. Un total de 22 autoridades reguladoras participan en dicho programa.

Si bien los datos relativos a las centrales españolas se encuentran disponibles en las

bases de datos internas del Área de Protección Radiológica de los Trabajadores (APRT) del CSN, se ha utilizado la base de datos del ISOE por los siguientes motivos:

- Tras haber sometido los datos de ambas bases a una comparación, se han corregido las discrepancias observadas entre la base del ISOE y la del Banco Dosimétrico Nacional de modo que para la dosis anual oficial, los datos de ambas bases para las centrales españolas son equivalentes.
- La base de datos del ISOE incluye además información contrastada y sometida a un proceso de calidad relativa a centrales de todo el mundo.
- La base de datos del ISOE incluye una serie de análisis predefinidos que hacen más amigable su uso. Adicionalmente, se pueden descargar los datos a una hoja de cálculo, permitiendo la realización de nuevos análisis definidos por el usuario.

En el anexo I, se introduce el Sistema de Información ISOE y su uso desde la perspectiva de la elaboración del informe. Para más información sobre ISOE puede consultarse la página web <http://www.isoe-network.net/>.

II. La exposición ocupacional en el ámbito ISOE. Marco comparativo

II. La exposición ocupacional en el ámbito ISOE. Marco comparativo

En el anexo II se presenta un estudio detallado del marco y las dosis ocupacionales para el conjunto de reactores incluidos en la base de datos ISOE que se resume en el presente capítulo. En las gráficas 1 a 8 siguientes se

presenta la evolución de los distintos aspectos analizados.

Con el fin de facilitar la lectura, se introduce aquí una tabla descriptiva de las gráficas que irán apareciendo a lo largo del capítulo II. Todas ellas reflejan la evolución temporal del número de reactores o bien de las dosis colectivas.

Gráfica	Título	Descripción
1	Número total de reactores en operación incluidos en el ISOE por región	Número total de reactores pertenecientes a ISOE en cada una de las regiones consideradas.
2	Dosis colectiva total anual y número de reactores	Dosis colectiva en Sv-p resultado de sumar todas las dosis colectivas de todos los reactores pertenecientes a ISOE. La otra entrada de la gráfica es el número total de reactores en operación dentro de ISOE.
3	Dosis colectiva anual media por reactor	Suma de las dosis colectivas de todos los reactores ISOE dividida por el número de reactores ISOE.
4	Dosis ocupacionales medias por tipo de reactor	Suma de dosis colectivas de todos los reactores pertenecientes a una tecnología, dividida por el número de reactores de esa tecnología, por ejemplo, suma de todas las dosis colectivas de los reactores PWR dividida por el número de reactores PWR.
5	Dosis colectivas totales por regiones	Suma de las dosis colectivas de todos los reactores de una determinada región (de cualquier tecnología) para cada una de las regiones consideradas.
6	Exposición ocupacional anual media por reactor y región	Igual que la anterior pero dividida por el número de reactores de cada región.
7	Exposición ocupacional media por reactor y por regiones PWR	Suma de las dosis colectivas de los reactores PWR en cada región dividida por el número de reactores PWR en esa región.
8	Exposición ocupacional media por reactor y por regiones BWR	Suma de las dosis colectivas de los reactores BWR en cada región dividida por el número de reactores BWR en esa región.

A nivel mundial, de forma general, el número de reactores se fue incrementado de forma continua desde los años 60 hasta la década de los 90 para todo tipo de reactores, excepto para los reactores tipo CGR (Reactores Refrigerados por Gas) que han ido disminuyendo progresi-

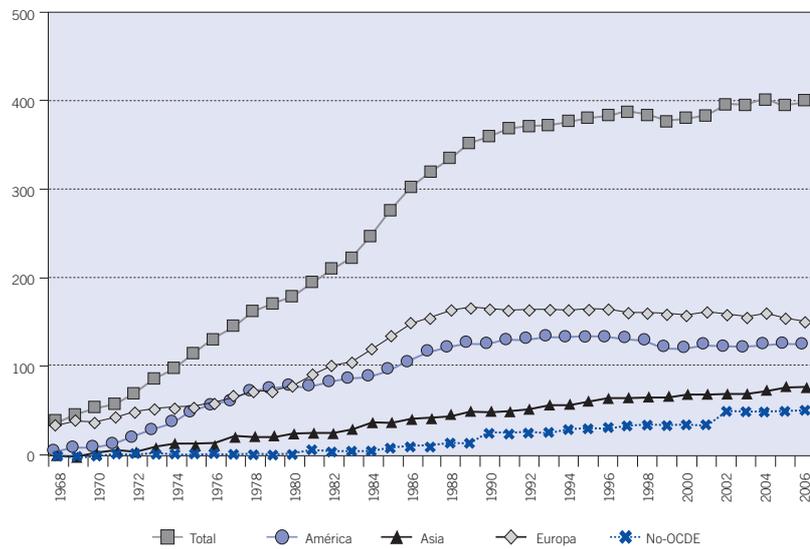
vamente desde 1989. Desde el año 2002 el número de reactores parece estabilizarse en torno a los 397 reactores. En los últimos siete años, de 2000 a 2006, Europa y América muestran una tendencia estable en el número de reactores incluidos en ISOE mientras que

Asia y los países no miembros de la OCDE siguen una tendencia creciente (gráfica 1).

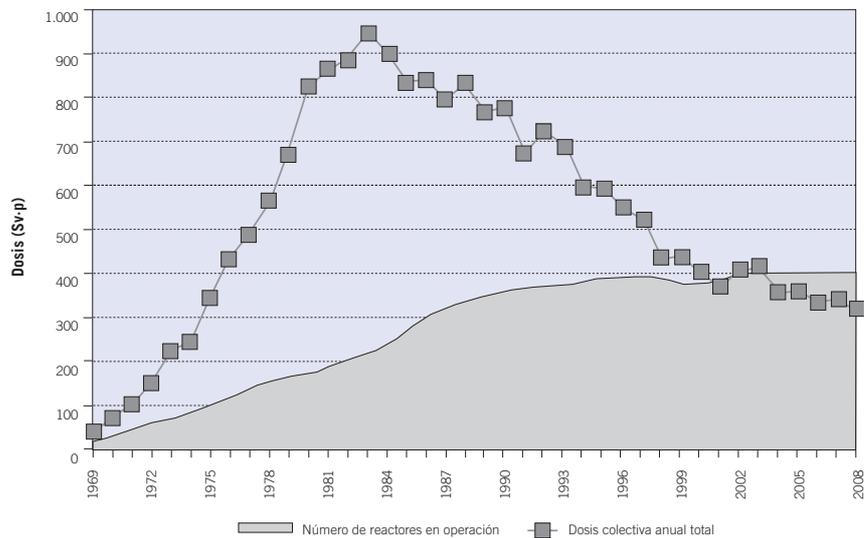
La dosis colectiva total del ISOE se ha venido reduciendo desde principios de los

años 80 alcanzando un mínimo histórico (sin tener en cuenta los valores bajos iniciales de los 60 y 70 durante la puesta en marcha de la mayor parte del parque mundial de reactores) en 2008 con 317 Sv·p (gráfica 2).

Gráfica 1. Número total de reactores en operación incluidos en el ISOE por región



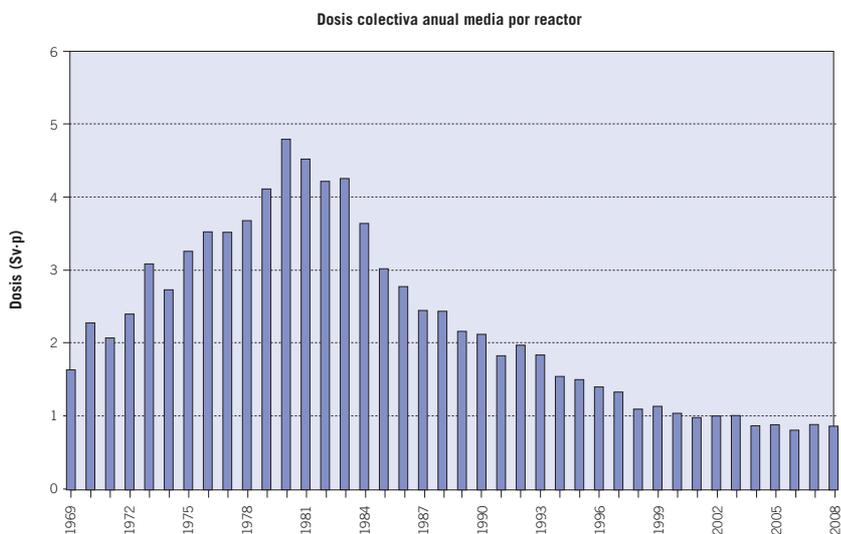
Gráfica 2. Dosis colectiva total anual y número de reactores en operación en el ISOE



La dosis media anual por reactor (gráfica 3) ha seguido una evolución similar a la de la dosis colectiva total, siendo la tendencia creciente hasta principios de los años 80, para a partir de ahí seguir una tendencia a la baja que tiende a estabilizarse, hasta alcanzar en 2006 el valor mínimo histórico del parque ISOE, 0,83 Sv·p. La media del período

2000-2008 fue 0,96 Sv·p. El descenso de las dosis en estos últimos años (2000-2008) se puede atribuir, por un lado, a la cada vez mejor implantación de los principios Alara de gestión del trabajo y, por otro, al efecto positivo de los trabajos de modificación realizados en la mayoría de centrales en los años anteriores.

Gráfica 3. Evolución de la dosis media por reactor en ISOE

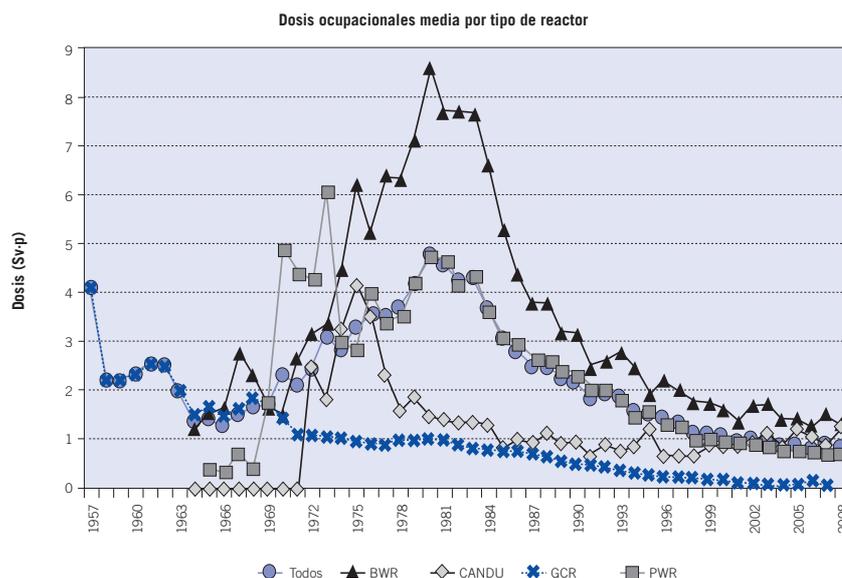


La dosis media anual por tipo de reactor, en general, ha disminuido de forma consistente durante el período 2000-2008, siguiendo la tendencia comenzada en las dos décadas anteriores. La tendencia de los reactores PWR y BWR sigue un patrón similar si bien las dosis medias para los reactores BWR siempre se sitúan por encima de las de los reactores PWR. En consecuencia, la tendencia del parque ISOE sigue el mismo patrón, habida cuenta de la importante contribución de los reactores PWR y BWR al

conjunto de reactores (87%) participantes en ISOE (gráfica 4).

La dosis colectiva media anual para el global de reactores PWR se ha mantenido desde el año 2000 por debajo de 1 Sv·p, siendo la media del período 2000-2008 de 0,8 Sv·p. La dosis colectiva media anual para el global de reactores BWR en el período en estudio es de 1,5 Sv·p habiendo pasado de 1,63 Sv·p en el año 2000 a 1,31 en el año 2008. El máximo se situó en 1,77 Sv·p en el año 2003.

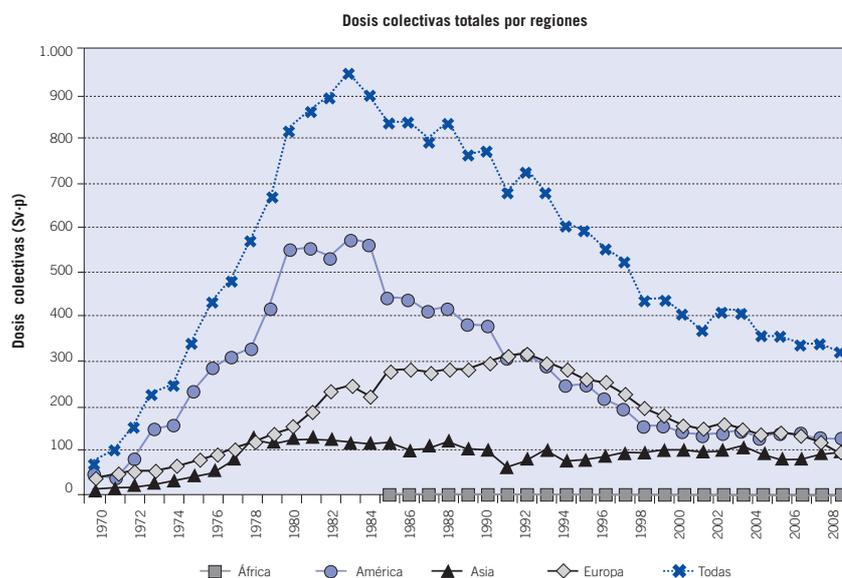
Gráfica 4. Evolución de la dosis media por reactor para diferentes tipos de reactores



Respecto a la exposición ocupacional por regiones (gráfica 5), la región que más contribuye al cómputo global anual es Norteamérica, seguida en orden por Europa, Asia y África. Todas las contribuciones, excepto África, se agrupan durante el período

2000-2008 en una franja de unos 100 Sv-p. Hasta principios de los años 90, Norteamérica ostentaba de forma notable las mayores dosis por reactor y desde 1993 ese puesto lo ocupó junto con Europa hasta el final del período.

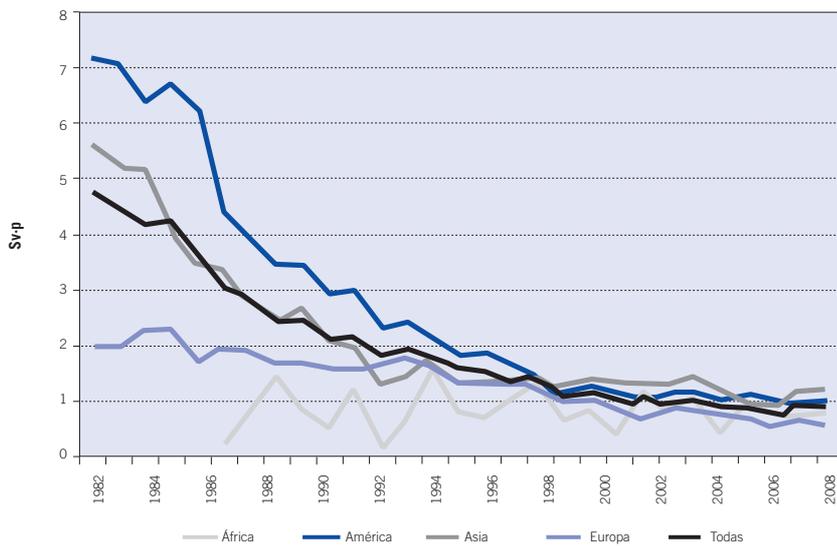
Gráfica 5. Evolución de la exposición ocupacional anual por regiones



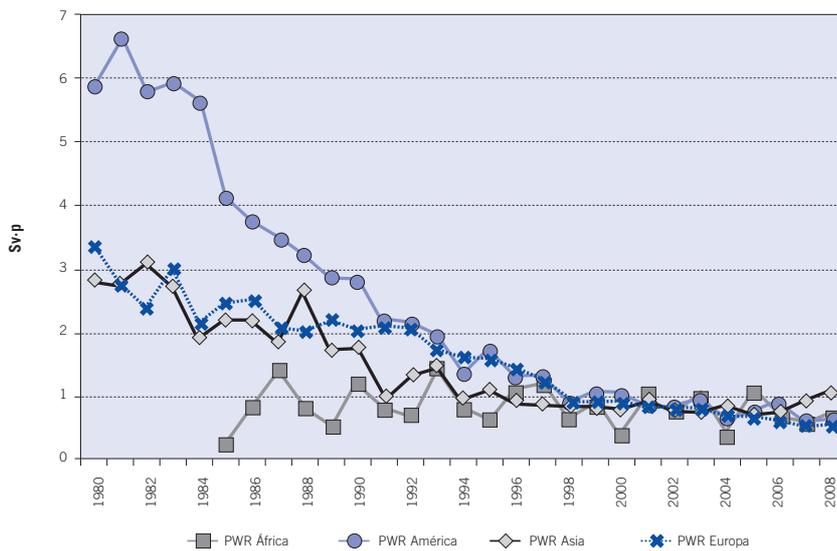
Durante el período en estudio los valores de dosis colectiva media anual por reactor (gráfica 6) más altos corresponden a Asia (1,22 Sv·p en

2008) seguida de Norteamérica (0,99 en 2008). Europa se mantiene en valores inferiores a 1 Sv·p desde el año 1999 (0,62 Sv·p en 2008).

Gráfica 6. Evolución de la exposición ocupacional anual media por reactor y por regiones



Gráfica 7. Exposición ocupacional media por regiones para reactores tipo PWR



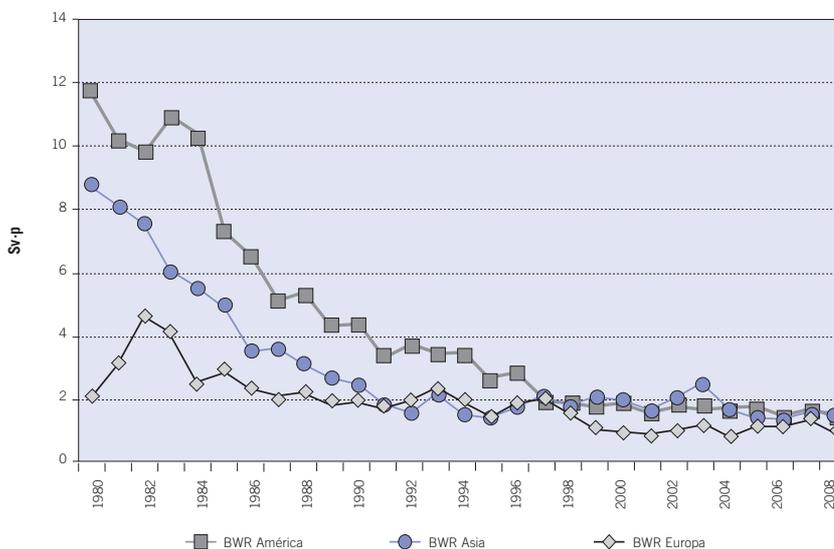
Durante el período 2000-2008, la dosis media anual de todos los reactores tipo PWR

(gráfica 7) en el ISOE siguió una tendencia general decreciente para todas las regiones

excepto Asia, donde dicha tendencia se hizo estable. La media anual para los reactores PWR de todas la regiones durante el período 2000-2008 fue de 0,8 Sv·p. Para los reactores BWR (gráfica 8), desde 1997, América y Asia se han ido alternando en ser la región

con mayor dosis media por reactor, correspondiendo a Europa las dosis más bajas. Las dosis medias se han reducido desde los 2 Sv·p en el año 2007 hasta un valor de 1,5 Sv·p en promedio para todas las regiones durante el período 2000-2008.

Gráfica 8. Exposición ocupacional media por regiones para reactores tipo BWR



III. La exposición ocupacional en España en relación con el ámbito ISOE

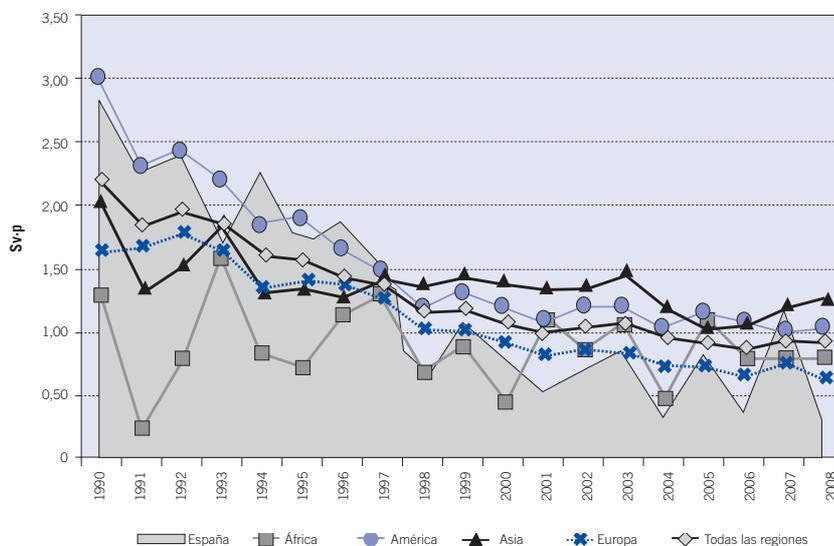
III. La exposición ocupacional en España en relación con el ámbito ISOE

III.I. Exposición ocupacional media en España frente al ámbito ISOE

Como puede apreciarse en la gráfica 9, donde se representa la dosis colectiva anual media por reactor en España frente a las distintas regiones

incluidas en el ISOE, la dosis colectiva anual media por reactor continúa con la tendencia decreciente tanto en los reactores españoles como en el conjunto de todos los reactores ISOE, excepto en el año 2007 que aumenta en España por las modificaciones realizadas en la central nuclear de Cofrentes. La gráfica de los valores en España presenta picos que coinciden con el mayor número de centrales en recarga.

Gráfica 9. Dosis media por reactor en España frente a dosis media por reactor en las regiones ISOE



Durante la década de los 90 se aprecia una evolución decreciente con valores que tienden a converger en todas las regiones. Por un lado, en Estados Unidos se concluyeron los trabajos de revisión de seguridad post-TMI que supusieron un aumento considerable de dosis situando a esta región como la primera en dosis durante la década de los 80. Esta situación no se dio en el parque europeo debido fundamentalmente a la mayor juventud de las instalaciones nucleares europeas y

a que la mayor contribución al grupo europeo la constituye el grueso de los reactores PWR franceses de tecnología Framatome.

En relación con las dosis del parque español frente al americano (similar tecnología), durante la década de los 80 y 90, hubo varios años en los que España se situó con dosis superiores a las americanas. Un breve resumen de los hitos más importantes que provocaron esta subida es el siguiente:

- En los años 1983 y 1985, se realizó con cierto retraso la revisión de seguridad post-TMI en la central nuclear José Cabrera.
- En el año 1985, año de máximo en dosis colectiva en España, se realizaron, también en la central nuclear de Santa María de Garoña importantes modificaciones de diseño, como fue la sustitución de las tuberías de recirculación con un alto coste radiológico.
- En 1994 se realizaron los trabajos de reparación de la tapa de la vasija en José Cabrera.
- En 1995, 1996 y 1997 se llevaron a cabo los trabajos de cambio de generadores de vapor (PSGV) en Ascó y en Almaraz.

Hasta 1998, la dosis media en España se situaba en promedio por encima de la dosis media en Europa, Asia y la media de todas las regiones. El año 1998 supuso un punto de inflexión para la posición de España en relación con el mundo con un valor de dosis media por reactor de 0,55 Sv·persona, inferior al de todas las regiones incluidas en el ISOE (Europa, Norteamérica y Asia) y por tanto al valor medio del ISOE para todo tipo de reactores. Esta reducción de dosis mostraba el efecto sobre los reactores PWR del cambio de generadores en cuatro reactores, y en los BWR la gestión Alara integrada y la aplicación extensiva de los principios de

minimización de dosis. A esta disminución contribuyó también un rasgo común a los reactores PWR y BWR como fue el acortamiento del tiempo de parada de recarga y la circunstancia adicional en 1998 de ausencia de recarga de las dos centrales BWR.

Desde entonces, durante el período 2000-2008 (con la excepción ya comentada del año 2007), España no ha perdido esta situación ventajosa con dosis por debajo de Asia, África, Norteamérica, y la media del parque ISOE para todas las regiones, siendo sus dosis comparables en promedio a las del parque europeo y algún año incluso inferior como se verá más adelante.

Para entender mejor la evolución durante este período de los resultados del parque español se incluyen a continuación dos tablas (tabla 1 y tabla 2), una con las paradas de recarga por centrales para cada año y otra con los valores de la dosis colectiva anual y la dosis colectiva media trienal para los dos tipos de reactores existentes en nuestro país.

El año 2001, a pesar de que seis de los nueve reactores realizaron parada para recarga, la dosis se redujo respecto al año 2000 que a su vez supuso una disminución respecto a 1999. Recordar que en 1999 las dosis subieron respecto al mínimo histórico de 1998 debido a la contaminación por antimonio ocurrida en Almaraz I. Los valores en 2000 fueron muy similares a los de 1998, si bien muestran una mejoría en los

resultados ya que el número de paradas en 2000 fue de seis mientras que en 1998 únicamente pararon cuatro plantas, todas ellas

tipo PWR. En el año 2000 España se situó por debajo de la media de todas las regiones y de todo el parque ISOE.

Tabla 1. Paradas de recarga de combustible en las centrales españolas durante el período 2000- 2008

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
José Cabrera	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	–	–
Almaraz I	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
Almaraz II	Si	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
Ascó I	Si	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
Ascó II	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Vandellós II	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Trillo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Garoña	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Cofrentes	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Total	7	6	6	8	4	7	5	7	3
	6 PWR	5 PWR	5 PWR	6 PWR	4 PWR	5 PWR	5 PWR	5 PWR	3 PWR
	1 BWR	1 BWR	1 BWR	2 BWR	0 BWR	2 BWR	0 BWR	2 BWR	0 BWR

Tabla 2. Dosis colectiva media por reactor para las centrales PWR y BWR españolas durante el período 2000-2008

Año	PWR		BWR		Media
	Número de paradas	Dosis media (Sv-p)	Número de paradas	Dosis media (Sv-p)	
2000	6	0,59	1	1,47	0,79
2001	5	0,43	1	0,88	0,53
2002	5	0,50	1	1,52	0,72
2003	6	0,43	2	2,16	0,82
2004	4	0,31	0	0,46	0,34
2005	5	0,42	2	2,32	0,84
2006	5	0,38	0	0,41	0,39
2007	5	0,50	2	4,15	1,61
2008	3	0,29	0	0,50	0,40

El año 2002 supuso un incremento de la dosis media. En 2002 pararon seis plantas, cinco tipo PWR y una tipo BWR (Cofrentes). La

media de los reactores tipo PWR continuó su tendencia decreciente por lo que el incremento es atribuible a los resultados de Cofren-

tes. Ese año se llevó a cabo la descontaminación química del sistema de refrigeración del reactor en la central nuclear de Cofrentes, que solo pudo ejecutarse en su parte inferior, con peores resultados de los esperados.

En 2003 pararon para recarga todas las centrales con excepción de la central nuclear Ascó II. El incremento en la dosis media de ese año se debió, por un lado, al mayor número de recargas, entre ellas las dos centrales tipo BWR, con mayor contribución a la dosis colectiva anual. Adicionalmente, Cofrentes sufrió un incremento muy elevado en la dosis estimada para la recarga debido a un aumento inesperado en las tasas de dosis en el pozo seco.

Durante este período, en 2004 se volvió a dar un mínimo histórico en la dosis media por debajo incluso de la dosis de 1998. Ese año, solamente pararon cuatro centrales para recarga, todas ellas PWR (Almaraz II, Ascó I, Ascó II y Trillo). Aunque Ascó II tuvo una dosis superior a la habitual tras el PSGV (Proyecto de Sustitución de los Generadores de Vapor), la reducción en las dosis debidas al cambio de generadores hizo que su contribución no fuese significativa para el conjunto de la media española.

En 2005 se volvió a invertir la tendencia con una dosis anual media de 0,84 Sv·p, lo que supone el máximo del período 2000-2008, solamente superado desde 1998 en 1999 por

la contaminación del antimonio en Almaraz I. El incremento de ese año es atribuible a dos razones principales: pararon siete plantas, de las cuales las dos BWR, que como ya se ha comentado contribuyen más a la dosis; pero sobre todo la contribución de la central nuclear de Cofrentes. Ese año se volvió a producir un incremento en las tasas de dosis en el pozo seco y además se llevaron a cabo trabajos de reparación de un cuadrante del CRDH. Ese año, a pesar del incremento significativo de dosis, España continuó en promedio, por debajo de la media de todas las regiones ISOE con excepción de la región Europea.

En 2006, pararon cinco reactores, todos ellos tipo PWR. La dosis media se situó por debajo de la de todo el parque ISOE y de todas las regiones ISOE, con el segundo mejor valor en dosis desde 1998 y por ende el segundo mejor valor durante el período de estudio. Esta disminución tan drástica es principalmente debida a la ausencia de paradas en las centrales tipo BWR y a la continuidad de una tendencia decreciente en las centrales tipo PWR.

En 2007 se produjo un incremento muy elevado de las dosis colectivas del parque nuclear español debido fundamentalmente a los trabajos de sustitución de tuberías del sistema CRDH llevados a cabo en la central nuclear de Cofrentes durante la recarga. La recarga de esta central terminó con casi 7 Sv·p de dosis colectiva.

En el año 2008 se obtuvo un mínimo histórico de 0,4 Sv·p debido a que sólo tres reactores PWR realizaron parada de recarga. La comparativa internacional nos sitúa en 2008 por debajo del resto de regiones del ISOE analizadas.

Como resumen del período, cabe destacar una estabilización para el conjunto de reactores del ISOE en torno a 1 Sv·p. En el caso de España existe una tendencia decreciente rota en 2007 por el hecho ya mencionado de las modificaciones de diseño en la central nuclear de Cofrentes.

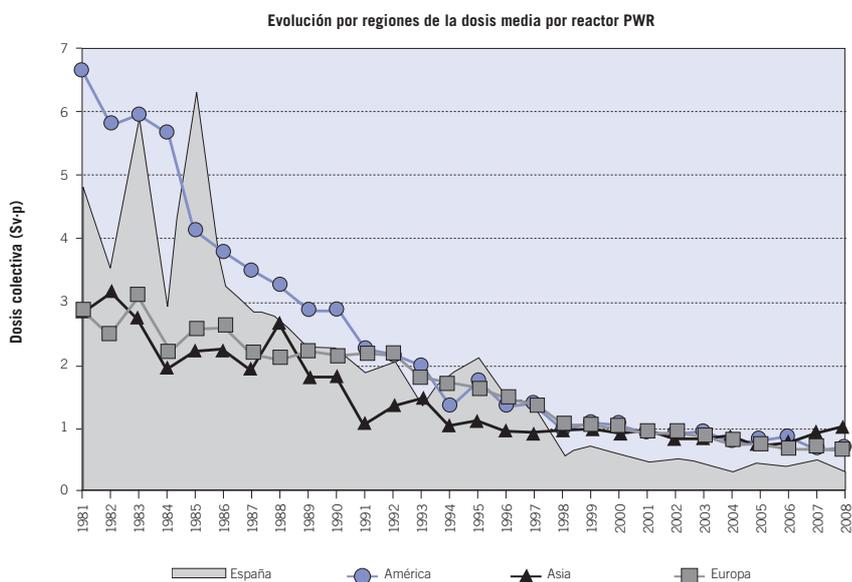
A lo largo del presente capítulo se han comentado las diferencias en dosis acumulada entre los reactores PWR y BWR, españoles. Por este motivo, resulta conveniente realizar un análisis separado por tipo de reactor de la

dosis colectiva anual media en España y en las regiones incluidas en ISOE para cada tipo de reactor de los existentes en España.

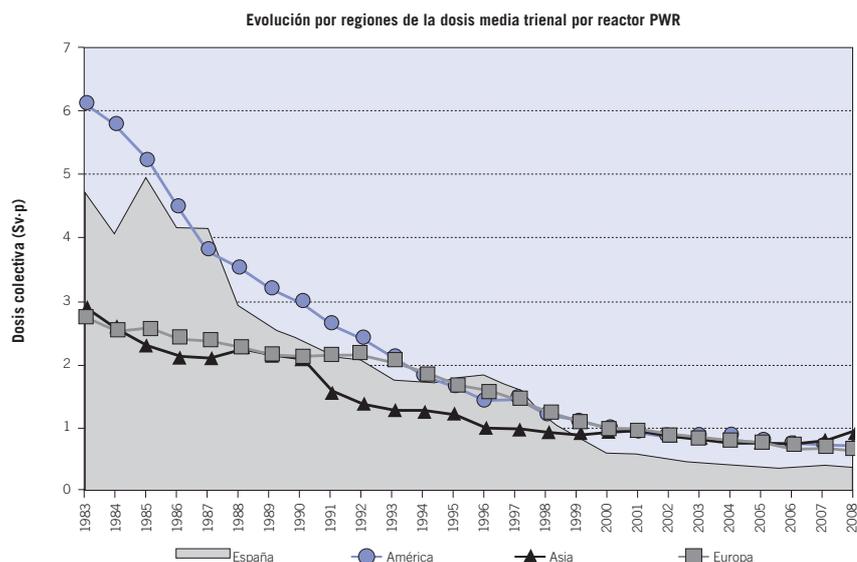
III.2. Exposición ocupacional media de los reactores PWR en España frente a reactores PWR del ámbito ISOE

El período 2000-2008 se caracteriza por una tendencia general ligeramente decreciente de la dosis media anual y trienal por reactor situando el grupo de reactores PWR por debajo de la media de todo el ámbito ISOE. Esta tendencia comenzó a finales de la década de los 90 y para valorar mejor este resultado es conveniente realizar un recorrido histórico de las dosis medias de este tipo de reactor respecto a las dosis medias en ISOE. La evolución de ambas medias se presenta en las gráficas 10 (media anual) y 11 (media trienal).

Gráfica 10. Dosis media de los reactores españoles tipo PWR frente a la dosis media en las regiones del ISOE



Gráfica 11. Dosis media trienal de los reactores españoles tipo PWR frente a la dosis media en las regiones del ISOE



Durante la década de los 80 la media trienal de dosis de los reactores PWR españoles se sitúa en general por debajo de la media americana llegando incluso a alcanzar valores del mismo orden que los reactores europeos, de los cuales un gran porcentaje es de tecnología Framatome que mantiene niveles de exposición bastante reducidos.

A principios de los años 90, la dosis media por reactor PWR en España descendió hasta los valores de Francia y Alemania. En el año 1993 se obtuvieron los mejores resultados frente a las centrales francesas, debido quizá a que durante esos años se realizó en Francia un extensivo plan de inspecciones de las soldaduras de las penetraciones de la tapa del reactor, con el consiguiente aumento de la dosis colectiva.

Esta tendencia decreciente se interrumpió en 1994 debido principalmente a los trabajos de

inspección y reparación en las penetraciones de la tapa de la vasija de José Cabrera y también a la sustitución del *by-pass* de las RTD (sistema de medida de la temperatura de las ramas del circuito primario) en Vandellós II. En 1995 la tendencia al alza continuó, debido a los trabajos de sustitución de los generadores de vapor (PSGV) en Ascó I. 1996 se consideró un buen año en promedio a pesar de haberse realizado grandes modificaciones de diseño tales como el PSGV simultáneamente en Ascó II y Almaraz I. Desde entonces la tendencia de los reactores PWR españoles ha sido en general decreciente hasta alcanzar la estabilización en los últimos años.

De forma genérica se puede afirmar que durante la década de los 90, la reducción de las dosis ocupacionales en las centrales PWR españolas fue fruto de una conjunción de

factores: por un lado, grandes modificaciones de diseño; por otro, la aplicación de nuevos medios técnicos, y finalmente, por una mejora en la gestión Alara de los trabajos.

Entre las grandes modificaciones de diseño destacan: los proyectos de sustitución de los generadores de vapor en Ascó I en 1995, en Ascó II y Almaraz I en 1996 y en 1997 en Almaraz II; la sustitución de los RTD y otras modificaciones en Ascó I en 1995 y la eliminación de los RTD, y el cambio de la tapa de la vasija de la central nuclear Almaraz II en 1997.

Entre los nuevos medios técnicos cabe mencionar, el cambio de química del primario, el taponado de tubos de los generadores de vapor mediante brazos robóticos (SM-10 y ROSA-III) y la inspección y reparación de combustible con criterios de daño nulo.

Finalmente en cuanto a la gestión Alara destacar el cambio radical en la concepción de la aplicación de los criterios Alara hacia una visión más globalizada, con un reflejo apropiado en las estructuras organizativas y en la definición de responsabilidades así como en la motivación, formación e información a los trabajadores. Toda esta gestión Alara tuvo una influencia apreciable y decisiva en la evolución a la baja de las dosis ocupacionales y llevó a afrontar desde una posición más favorable la ejecución de proyectos de mayor envergadura (proyectos de sustitución de los generadores de vapor de Ascó y Almaraz)

desde el punto de vista organizativo y del impacto radiológico.

El período 2000-2008 comenzó marcado por la influencia de las dosis ocupacionales en los últimos dos años de la década de los 90. Por un lado en 1998, tras todas las modificaciones mencionadas (principalmente inducido por los PSGV) la dosis alcanzó un mínimo histórico (0,54 Sv·p) y por primera vez se situó por debajo de 1 Sv·p por reactor. También por primera vez se situó por debajo de todas las regiones ISOE. Sin embargo en 1999 (0,71 Sv), el buen resultado de 1998 cuya continuidad era predecible salvo incidentes, se vio empañada por el suceso de rotura de una fuente neutrónica secundaria en la central nuclear Almaraz I que hizo subir los niveles de dosis colectiva en recarga por encima de lo esperable en una planta con los generadores de vapor nuevos. Este efecto fue transitorio hasta la eliminación del antimonio.

Como puede apreciarse en la gráfica 11, los valores de la dosis media trienal por reactor para los reactores tipo PWR en España durante el período 2000-2008 han seguido una tendencia decreciente con pequeñas oscilaciones puntuales.

Durante el mismo período los resultados del parque español se situaron por debajo de los de todas las regiones del ISOE, hecho que se produjo por primera vez en 1998 como ya se

ha comentado. Esto es así tanto para la dosis media anual por reactor como para la dosis media trienal por reactor.

El período comenzó en 2000 con una dosis promedio anual, para el grupo de PWR de 0,59 Sv·p resultando ser el segundo mejor valor histórico. Este año se puede apreciar que continua el descenso de la dosis media tras el recambio de los generadores de vapor afectado por la contaminación residual del antimonio en Almaraz I. Notar que el valor es muy cercano al mínimo histórico de 1998, con la diferencia de que en ese año hubo cuatro paradas por seis en 2000. Ese año, en Almaraz II, durante la parada se procedió a eliminar la fuente secundaria de antimonio con el fin de evitar el problema ocurrido en la unidad I.

En 2001, la dosis media anual por reactor fue 0,43 Sv·p y la media trienal 0,58 Sv·p, valores inferiores respectivamente a los de 2000. Ese año pararon para recarga cinco plantas, siendo paradas estándar todas ellas.

En 2002 continuó la tendencia descendente en los valores de dosis trienal. El valor medio de la dosis anual por reactor fue superior al de 2001, que fue el más bajo de los últimos cinco años. Además hubo una recarga menos que en 2001. A este incremento relativo contribuyeron principalmente dos factores. En la central nuclear Vandellós II se registró un incremento de las tasas de dosis en la cavidad

que afectó a las actividades de recarga de combustible (133,2 mSv·p) y también a las dosis asociadas a los trabajos en válvulas, ligado a un incremento en las tasas de dosis en planta. Por otro lado, la central nuclear José Cabrera tuvo una parada bastante larga debido a un problema acontecido durante la extracción de los internos superiores cuando tres *pins* de los elementos combustibles se doblaron y tuvieron que ser cortados. Este trabajo requirió la autorización del CSN lo que retrasó aún más la finalización del trabajo.

En 2003 seis centrales PWR pararon para recarga. La media trienal fue inferior a años precedentes y la dosis anual del orden de la de 2001, continuando la tendencia general decreciente para todas las plantas. El valor medio anual fue 0,43 Sv·p siendo en torno a un 50% inferior a la media del resto de las regiones ISOE. La central nuclear Vandellós II alcanzó su mejor resultado debido principalmente a la reducción en las tasas de dosis en planta como consecuencia de las mejoras introducidas en la química del primario, mejoras en el sistema de filtrado y el uso de nuevos elementos combustibles. En Ascó I, aproximadamente un 20% de las dosis se debieron a modificaciones de diseño, principalmente la construcción de nuevas plataformas de acceso al lazo B y la sustitución de la cabeza de la vasija.

En 2004 únicamente pararon cuatro plantas tipo PWR. La dosis media por parada fue de

0,31 Sv·p y la dosis media trienal para el grupo 0,41 Sv·p, lo que supuso una continuidad en la tendencia descendente de años anteriores para ambas medias. El valor anual supuso el mínimo histórico que debe valorarse positivamente ya que si bien es cierto que el número de centrales que pararon fue el menor del período, dos centrales tuvieron circunstancias que las diferenciaron de una parada estándar con incremento de dosis. La central nuclear Almaraz II tuvo una parada de recarga especial por cumplir los 20 años de operación, lo que implicó un mayor número de inspecciones y otras tareas con el consiguiente incremento en la dosis colectiva cuando se compara con paradas estándar. La central nuclear Ascó II llevó a cabo la sustitución de la cabeza de la vasija (71 mSv·p) y ejecutó diversas modificaciones de diseño con una dosis total de 103 mSv·p. Además, la central nuclear Ascó I tuvo problemas de contaminación de área en contención con I-131. Dicho suceso no afectó a la dosis colectiva aunque sí a nivel individual, implicando la contaminación interna de varios trabajadores, todos ellos por debajo del nivel de registro (1 mSv).

En 2005, la media anual de 0,42 supuso un retroceso con respecto a los valores de 2004 y la media trienal continuó con su tendencia decreciente. Ese año, en Vandellós II se llevó a cabo la limpieza química de la cavidad de recarga. Adicionalmente, la parada fue especialmente larga con una duración de seis

meses (de marzo a agosto) debido a las acciones requeridas por el CSN tras la rotura de la tubería del sistema de aguas de servicios esenciales acontecida el 25 de agosto de 2004.

2006 finalizó con una dosis media anual por reactor de 0,38 Sv·p y una dosis media trienal por reactor de 0,37 Sv·p. El valor anual fue el segundo mejor resultado del período y el valor trienal volvió a suponer un mínimo histórico continuando con la tendencia decreciente. Ese año, central nuclear de Trillo tuvo una dosis colectiva más alta de lo habitual debido a problemas encontrados durante la inspección de la bomba de refrigeración principal que implicaron su sustitución. La central nuclear Vandellós II tuvo dos paradas no programadas con un total de 63 días debido a la detección de piezas sueltas de un *split-pin* de los internos del reactor. Por su lado, el 30 de abril de 2003 se produjo la parada definitiva de José Cabrera. Las dosis de la parada de recarga fueron debidas principalmente a los trabajos de movimiento de combustible. Las principales actividades previas al desmantelamiento comenzaron el 28 de mayo de 2006. La dosis asociada a las actividades de parada fue de 159 mSv·p desde el 30 de junio de 2006 hasta final de año

2007 tuvo unas dosis medias de 0,5 Sv·p y una media trienal de 0,43 Sv·p. El repunte en las dosis medias se debió principalmente a la recarga de Ascó II y a la de Vandellós II que tuvo una duración especialmente larga, de

127 días. En la siguiente tabla se muestra la comparación de dosis entre 2006 y 2007.

Central	Dosis 2006	Dosis 2007	Variación
Almaraz I	549	46	-503
Almaraz II	440	578	138
Ascó I	523	685	162
Ascó II	91	584	493
Vandellós II	267	783	516
Trillo	429	299	-130
José Cabrera	357	0	-357
Total	2.656	2.975	319

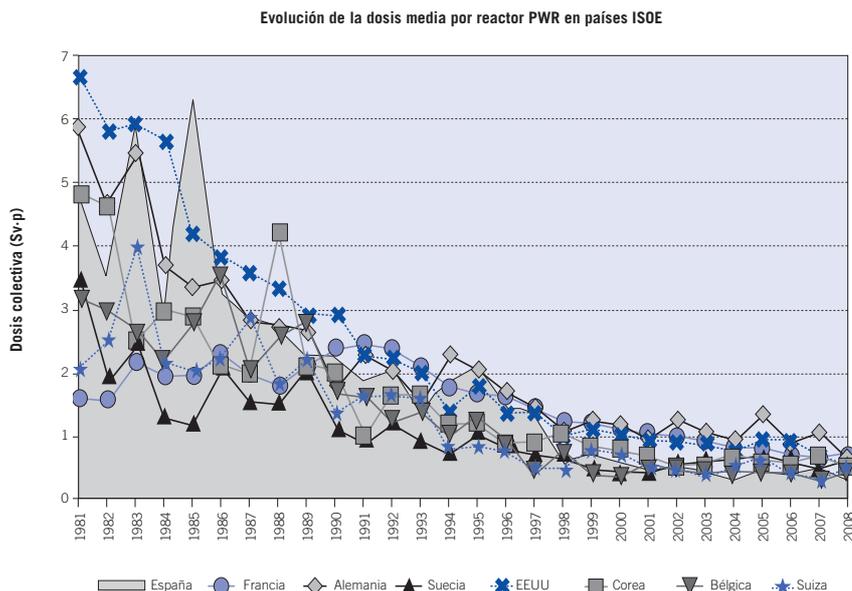
2008 terminó con 0,29 Sv·p de dosis media y 0,39 de media trienal. El valor de 0,29 Sv·p

supone el menor de la historia y es debido fundamentalmente a que sólo recargaron tres centrales PWR (el menor valor del período evaluado) frente a las cinco de 2007 o 2006.

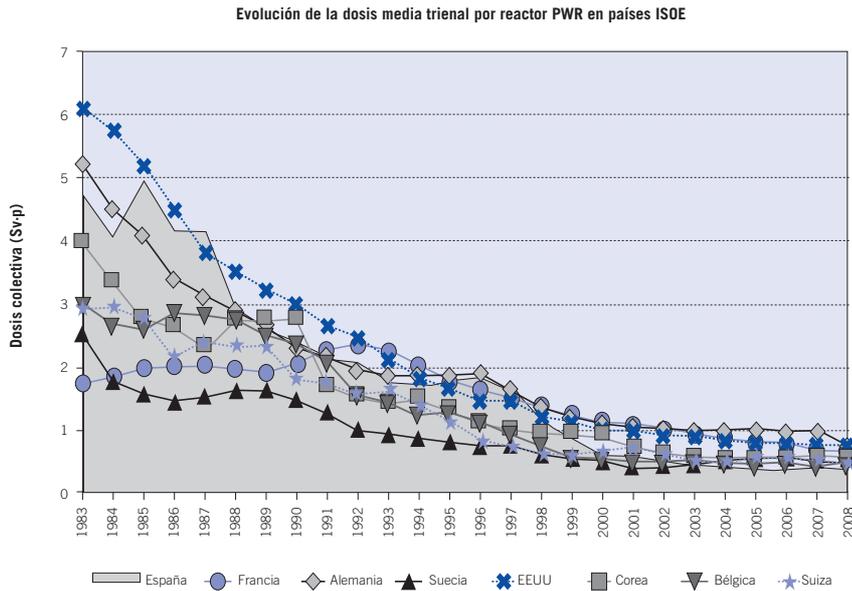
Cuando se realiza la comparación de la dosis media por reactor en el grupo PWR español frente a otros países con este tipo de reactor, entre los cuales alguno está dentro de los grupos de centrales comparables a las españolas, se obtiene la gráfica 12.

En la gráfica 13 se expone la misma comparación pero en este caso con la media trienal por lo que las líneas son más suavizadas.

Gráfica 12. Evolución de la dosis media por reactor en los reactores PWR españoles frente a otros países ISOE



Gráfica 13. Evolución de la dosis media trienal por reactor en los reactores PWR españoles frente a otros países ISOE



Nótese que con anterioridad a 1998 prácticamente EEUU era el único país con dosis superiores a las españolas. Durante la década de los 90 las dosis españolas se encontraban en el techo superior de la franja ocupada por todos los países. En los años 90-93 descendió hasta los valores de Francia y Alemania. En dicho período se obtuvieron los mejores resultados frente a las centrales francesas, debido quizá a que durante esos años se realizó en Francia un extensivo plan de inspecciones de las soldaduras de las penetraciones de la tapa del reactor, con el consiguiente aumento de la dosis colectiva. En 1998 la situación se invierte continuando durante todo el período 2000-2008 en el que España se sitúa en el techo inferior de dicha franja con dosis por debajo de USA, Francia y Alemania y comparables a las dosis de Suiza, Suecia, Bélgica y Corea. Durante este

período, estos países junto con España se van alternando en ostentar el puesto de dosis mínima por reactor. Desde 2003, España mostró valores prácticamente iguales a los de Bélgica, siendo los resultados de ambos países los más bajos de todos los países bajo análisis. Se han producido dos hechos muy relevantes en el período objeto de estudio. Por una parte, se ha conseguido en España un mínimo histórico de dosis media trienal por reactor tipo PWR en 2006 con lo que logró situarse en el valor mínimo trienal de todos los países con centrales comparables. Por otra parte, se consiguió un mínimo absoluto de dosis colectivas anuales en 2008 con 0,29 Sv-p. Estos hechos dan cuenta de la buena gestión Alara y del esfuerzo realizado por las centrales españolas en conseguir que las dosis sean Alara.

III.3. Exposición ocupacional media de los reactores BWR en España frente a reactores BWR del ámbito ISOE

En cuanto a los reactores de agua en ebullición, la situación española ha venido siendo, en general, menos favorable frente a la comunidad internacional. En las gráficas 14 y 15 se puede ver la evolución conjunta de la exposición colectiva media por reactor anual y trienal de las dos centrales BWR españolas frente a otras regiones del ISOE.

Un factor decisivo a la hora de establecer las comparaciones del grupo de centrales BWR es que la media de dosis de los reactores BWR españoles es muy sensible y fluctuante debido al ciclo de operación largo y al contar con sólo dos reactores. Estas fluctuaciones

quedan suavizadas en el resto de las regiones y países considerados por contar con un número elevado de reactores. Por supuesto la media trienal también suaviza las curvas.

Durante el período 2000-2008, deben distinguirse dos subperíodos desde el punto de vista de los ciclos de recarga. El primero abarca de 2000 a 2002 y se caracteriza por una única recarga por año, alternándose las centrales. Durante este subperíodo, Santa María de Garoña paró para recarga tras ciclos de 24 meses, lo cual viene siendo así desde 1993. Sin embargo la central nuclear de Cofrentes, desde 1991 hasta 2003, paraba tras ciclos de 18 meses. El segundo subperíodo abarca de 2003 a 2008 y se caracteriza por años alternantes en los que ambas centrales paran para recargas, y años en los que no para ninguna.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Garoña	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Cofrentes	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Total	1	1	1	2	0	2	0	2	0

Otro aspecto importante para comprender la evolución de las centrales BWR españolas es la inversión en la contribución de cada una a la media de ambas a lo largo del último período, 2000-2008 como consecuencia de tendencias marcadamente diferentes para ambas centrales. Si hasta finales de los 90, la tendencia estaba marcada, mayoritariamente, por la contribución de Santa María de Garoña

frente a la menor contribución a las medias de Cofrentes, a partir de finales de los 90 esta contribución se invierte, pasando Cofrentes a contribuir en mayor medida a la media. La explicación a la mayor contribución de central nuclear de Garoña hasta finales de los 90 era debida a la existencia de una gran diferencia generacional que se reflejaba en términos de dosis: Garoña se puso en funcionamiento

en 1971 y Cofrentes en el 1985. A partir de mediados de los años 90, la central nuclear de Santa María Garoña comenzó una serie de acciones recogidas en un plan de reducción del término fuente que ha finalizado, como se verá más adelante, con una reducción espectacular de las dosis ocupacionales en recarga de esa central a partir de 1999. Por su parte, la central nuclear de Cofrentes desde el año 2000 comenzó a observar incrementos de la tasa de dosis en el pozo seco que le llevaron a realizar diversas descontaminaciones químicas en varios sistemas de la central en los años 2002, 2005 y 2009 que en algún caso no obtuvieron los resultados deseados. Desde el comienzo del período, las dosis de Cofrentes han seguido una tendencia creciente debido, por un lado, a un incremento en las tasas de dosis en el pozo seco y, por otro, a la realiza-

ción de grandes trabajos en las recargas. Todo ello ha implicado una mayor contribución de la central nuclear de Cofrentes a la media durante el período 2000-2008.

En conclusión, combinando ambos factores (tendencias contrarias en las dosis de cada central y ciclos de recarga diferentes para cada central e incluso cambiante tres veces en el período 2000-2008 para una de ellas) se explica que las dosis medias anuales no sigan un patrón claramente definido y que la media sea altamente dependiente de cuantas centrales realizaron parada para recarga y de qué central realizó la parada. En el caso de la media trienal la curva sigue un patrón en diente de sierra decreciente a excepción del año 2007 por las elevadas dosis ya comentadas en la central nuclear de Cofrentes.

Año	Número de paradas	Central en parada	Dosis colectiva media (Sv-p)	Media trienal (Sv-p)
2000	1	Cofrentes	1,47	1,50
2001	1	Garoña	0,88	1,60
2002	1	Cofrentes	1,52	1,29
2003	2	Cofrentes/Garoña	2,16	1,52
2004	0	Ninguna	0,46	1,38
2005	2	Cofrentes/Garoña	2,32	1,65
2006	0	Ninguna	0,41	1,06
2007	2	Cofrentes/Garoña	4,15	2,29
2008	0	Ninguna	0,50	1,69

Como puede apreciarse en la gráfica 4 (página 24), los reactores BWR son los de mayor dosis media por reactor de todos los tipos incluidos en ISOE, desde mediados de

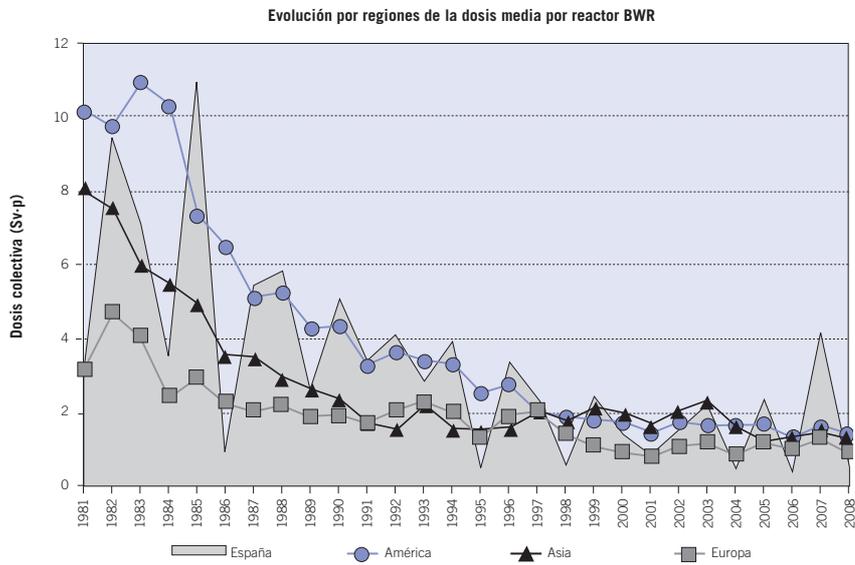
los 70 hasta mediado de los 80 la diferencia era acusada y comenzó a reducir distancias a principios de los 90 con una tendencia generalizada decreciente durante la década de los

90 hasta 2001-2003 donde se produce un remonte y desde 2003-2008 nueva tendencia decreciente para situarse cerca de 1 Sv.p.

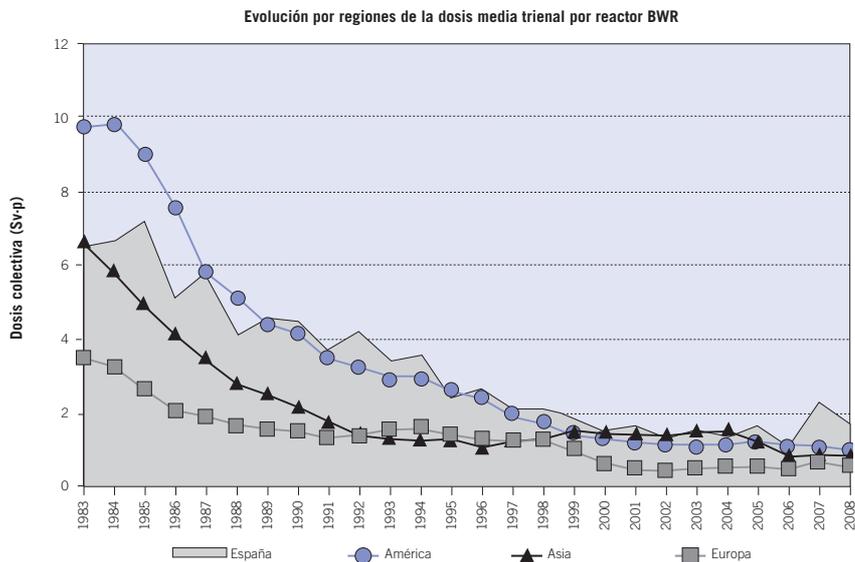
La situación de los reactores BWR españoles frente a los de las diferentes regiones del

ISOE puede apreciarse en la gráfica 14 donde se presenta la evolución de la dosis media para los reactores BWR españoles frente a la media de las diferentes regiones del ISOE. En la gráfica 15 se muestra la media trienal por reactor.

Gráfica 14. Dosis media de los reactores españoles tipo BWR frente a dosis media en las regiones del ISOE



Gráfica 15. Dosis media trienal de los reactores españoles tipo BWR frente a dosis media trienal en las regiones del ISOE



Por diseño, las centrales españolas, ambas de diseño General Electric pero de distinta generación, deben compararse con las centrales americanas. De hecho, más del 50% de las centrales BWR de la región americana pertenecen a alguno de los dos grupos de centrales comparables (GE2 y GE5) a las españolas. No es de extrañar por tanto que la curva de los reactores españoles siga la misma forma que la curva americana, sobre todo en lo que respecta a la media trienal donde los picos de la curva española correspondiente a la media anual quedan suavizados. De hecho, a partir de la década de los 90 se podría decir que ambas curvas son muy similares si bien con dosis ligeramente superiores en las centrales americanas, excepto en el año 2007 donde como consecuencia de los trabajos en los CRDH en Cofrentes, las dosis son muy diferentes. Este hecho se refleja también en la gráfica de las medias trienales e influirá hasta el año 2009. Recuérdese que en la región americana está incluida también la central mexicana de Palo Verde, con dosis elevadas en los últimos años.

La mayoría de centrales BWR europeas difieren en el diseño de las americanas hecho que se ve reflejado en las dosis. Tomando como ejemplo Suecia, que tiene siete reactores BWR de diseño ABB-ATOM, se puede observar en la gráfica 15 que la situación de partida ha sido muy diferente a las centrales españolas o americanas. Europa ha venido mostrando las dosis más bajas por reactor, salvo años aislados a

mediados de los 90 donde Asia se situó ligeramente por debajo.

En cuanto a la región asiática, únicamente un reactor, Fukusshima Daiichi 1, es comparable a las centrales BWR españolas, en particular a Santa María Garoña. Hasta 1999 España se encontraba con dosis superiores a las centrales asiáticas. A partir de ese año, gracias a la tendencia decreciente en la media trienal de las centrales BWR españolas y a la tendencia alcista de Asia iniciada a mediados de los 90, la situación se invierte situándose España por debajo de Asia y pasando esta región a ser la de dosis más altas por reactor BWR. De hecho, durante el período 2000-2008 Asia fue la única región que superó los 2 Sv·p (años 2000 y 2003). Recuérdese que en la región asiática, en 2003 se produjo el máximo del período 2000-2008 debido principalmente a la larga duración de las inspecciones periódicas y a los trabajos de reparación de las tuberías de recirculación y del *shroud* en Japón, trabajos que se realizaron en zonas de alta tasa de dosis. Finalmente, en los años 2007 y 2008, la media a tres años supera en España la de los reactores asiáticos por el hecho ya comentado de Cofrentes.

El período 2000-2008 comenzó con una media anual para las dos centrales BWR españolas de 1,47 Sv·p y con un valor similar para la media trienal (1,50). Este valor suponía una continuidad a la tendencia decreciente comenzada a principios de la década de los

90. En el año 2000 únicamente realizó parada para recarga la central nuclear de Cofrentes que vio aumentada su dosis respecto a la anterior parada debido al incremento medido en las tasas de dosis en el pozo seco. Ese año Cofrentes llevó a cabo la sustitución de los haces tubulares del condensador, trabajo de gran envergadura que sin embargo implicó escasa relevancia radiológica.

En 2001 también paró para recarga una sola central: Santa María de Garoña. Por este motivo la media anual del grupo BWR que fue de 0,88 Sv·p disminuyó respecto al año anterior y sin embargo la media trienal, 1,60 Sv·p aumentó ligeramente. La dosis en Garoña (1,29 Sv·p) batió un record en su historia tras los esfuerzos dedicados a optimizar la gestión de los trabajos y la estrategia para el control del término fuente.

En 2002, únicamente realizó parada para recarga la central nuclear de Cofrentes que con una dosis colectiva anual de 2,8 Sv·p contribuyó a una dosis media anual para el grupo de 1,52 Sv·p repitiendo el valor del año 2000 y una dosis media trienal de 1,29 Sv·p. Una de las tareas más destacadas durante la recarga de Cofrentes fue la descontaminación del RCS, con peores resultados de los esperados: sólo se pudo descontaminar la parte inferior, quedando sin descontaminar la parte superior. Dado que la descontaminación no produjo la reducción de tasa de dosis esperadas, los trabajos programados para des-

pués de la descontaminación implicaron mayores dosis de las estimadas inicialmente.

En 2003, ambas centrales realizaron parada de recarga con resultados de tendencia diferentes para cada una de ellas respecto a recargas anteriores. La dosis media de ese año para el grupo fue de 2,16 Sv·p. Mientras que Santa María de Garoña alcanzó su mejor resultado histórico de dosis y de duración de la parada, Cofrentes con una dosis colectiva anual de 3,1 Sv·p retrocedía a valores por encima de los 3 Sv·p que no se observaban desde 1994. La dosis de la central nuclear de Cofrentes estuvo marcada por el inesperado aumento de la tasa de dosis en las tuberías de recirculación que afectó a la parte inferior del pozo seco. Como consecuencia la dosis colectiva de la parada (2.831 mSv·p) aumentó en 1 Sv·p, con respecto a la estimación previa a la recarga.

En 2004, la ausencia de paradas para recarga implicó la dosis media más baja en la historia del grupo español de BWR, 0,46 Sv·p. La media trienal fue 1,40 Sv·p. Ese año, Cofrentes realizó una parada no programada de 10 días en mayo para cambiar dos elementos combustibles dañados. La dosis total de esa parada fue 238 mSv·p.

En 2005, volvieron a coincidir las dos centrales realizando parada para recarga. La dosis colectiva media fue 2,32 Sv·p situando a ese año como el de mayor dosis colectiva

del período 2000-2008 sólo por detrás del valor de 2007. En consecuencia, la dosis media trienal se vio incrementada a un valor de 1,65 Sv·p. La dosis anual de Garoña fue 1,3 Sv·p y la de Cofrentes 3,3 Sv·p. Cofrentes retrocedía a valores que no se observaban desde hacía una década. El incremento de dosis en la central nuclear de Cofrentes es principalmente atribuible, por un lado, al incremento en las tasas de dosis en el pozo seco y, por otro, a los trabajos no programados de reparación del sistema CRDH durante la parada. En dicho sistema se tuvieron que reparar las tuberías del segundo cuadrante del sistema al presentar ocho tuberías fisuras por corrosión intragranular. Además se realizó una descontaminación química del sistema de refrigeración del reactor con mejores resultados que los de 2003.

En 2006, se repitió el programa de 2003, no parando ninguna central para recarga. La dosis colectiva media para el grupo fue 0,41 Sv·p lo que supuso un mínimo histórico del grupo español de BWR y en consecuencia un mínimo para el período 2000-2008. La media trienal fue 1,06 Sv·p suponiendo asimismo un mínimo histórico. Ese año, la central nuclear de Cofrentes realizó una parada no programada de 10 días, del 23 de abril al 3 de mayo, con el fin de sustituir elementos combustibles dañados. Durante la parada se tomaron medidas es los puntos BRAC que eran cohe-

rentes con la evolución esperada tras la descontaminación química llevada a cabo durante 2005.

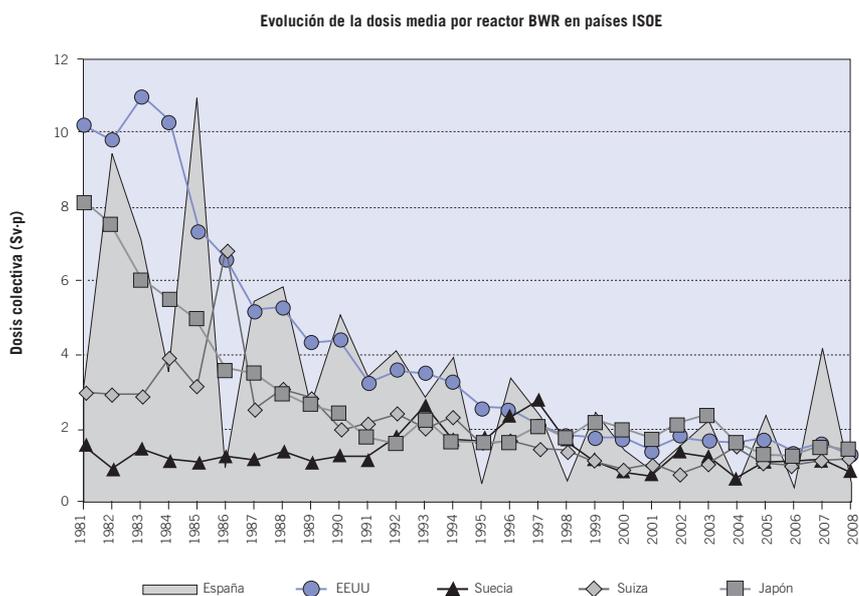
El año 2007 tuvo unas dosis medias de 4,15 Sv·p y una media trienal de 2,3 Sv·p debido a los trabajos extraordinarios realizados en los CRDHs de Cofrentes. Hay que remontarse a 1990 para obtener un resultado peor de dosis colectivas. En este año ambas centrales recargaron combustible y termino con 6,75 Sv·p en Cofrentes. En Garoña cabe destacar los buenos resultados obtenidos con 1,55 Sv·p, de acuerdo a su favorable evolución de los últimos años.

El año 2008 termino con 0,50 Sv·p de dosis media y 1,69 de media trienal ya que ninguna de las centrales tuvo parada de recarga. En el valor de la media trienal sigue influyendo el resultado de 2007 de la central nuclear de Cofrentes y lo hará también hasta 2009.

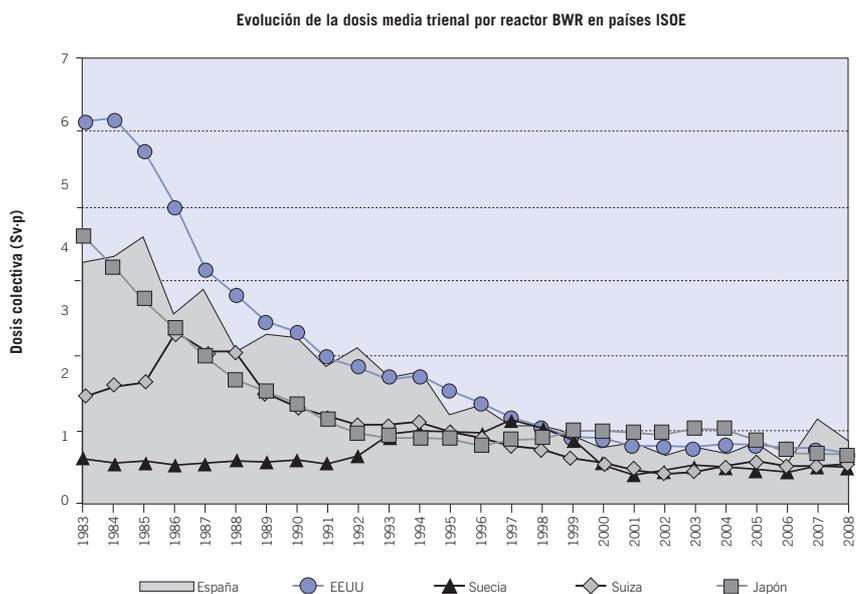
Cuando se realiza la comparación de la dosis media por reactor en el grupo BWR español frente a otros países con este tipo de reactor entre los cuales alguno está dentro de los grupos de centrales comparables a las españolas se obtiene la gráfica 16.

En la gráfica 17 se expone la misma comparación pero en este caso con la media trienal móvil por lo que las líneas son más suavizadas.

Gráfica 16. Evolución de la dosis media por reactor en los reactores BWR españoles frente a otros países ISOE



Gráfica 17. Evolución de la dosis media trienal por reactor en los reactores BWR españoles frente a otros países ISOE



La comparación debe realizarse principalmente con respecto a EEUU, donde resultan de aplicación los comentarios realizados anteriormente respecto a la región americana. Los mismos comentarios realizados

respecto a la región asiática aplican a Japón, ya que en esta región los únicos reactores BWR de países pertenecientes al ISOE son los japoneses. Se ha incluido Suecia en la gráfica, a pesar de no ser un país con centra-

les de diseño comparables a las españolas. Por su diseño diferente las centrales ABB-ATOM han estado siempre por debajo de las centrales españolas en cuanto a dosis media por reactor. No obstante, durante la década de los 90 los trabajos de modernización llevados a cabo en las centrales BWR más anti-

guas de este país, supusieron un aumento de las dosis en este período. Ello provocó repuntes puntuales de las dosis suecas por encima de las españolas. Durante el período 2000-2008 las dosis de las centrales suecas han vuelto a situarse claramente por debajo de las españolas.

IV. Análisis individualizados de las centrales nucleares españolas

IV. Análisis individualizados de las centrales nucleares españolas

IV.1. Centrales BWR

En España existen dos centrales tipo BWR: Santa María de Garoña (comienzo de operación en 1971 y cierre previsto en 2013) y Cofrentes (inicio en 1984). La tendencia de las dosis colectivas de ambas recargas a lo largo del tiempo ha sido muy diferente en los últimos años, como se verá en los siguientes apartados. Santa María de Garoña ha pasado de ser la central con las dosis históricas más elevadas del parque español a experimentar una reducción espectacular de las dosis, situándola con mejores resultados que su homóloga, en tipo de reactor aunque más joven en generación, la central nuclear de Cofrentes, y colocándola en una posición muy favorable a nivel internacional. Por su lado, Cofrentes ha sufrido una evolución inversa con una tendencia creciente en las dosis que la ha colocado como la central con mayores dosis de España y una posición desfavorable a nivel internacional (ver informe de evolución *Análisis histórico de dosis colectivas en la central nuclear de Cofrentes*, ref. 58).

IV.1.1. Central nuclear de Santa María de Garoña

La evolución de las dosis ocupacionales en la central nuclear de Santa María de Garoña ha seguido una tendencia decreciente con un

importante descenso en la dosis a partir de 1996, situando a esta central con uno de los mejores resultados tanto de dosis anual, con y sin recarga, como de dosis media trienal, no sólo entre su grupo de centrales comparables sino también del mundo.

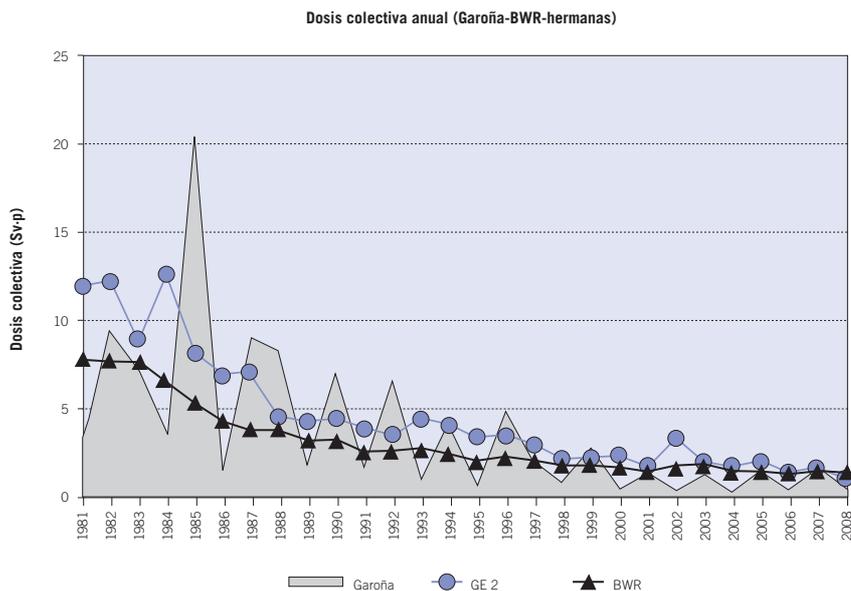
Como puede apreciarse en la gráfica 19, durante el período 2000-2008 la dosis anual ha seguido un período de estabilización, con un ligero aumento en 2007 (año con recarga) y 2008 (año sin recarga). Esto parece indicar una estabilización entorno a 1,5 Sv·p para los años con recarga y alrededor de 350 mSv en los años sin recarga. En cuanto a la evolución de la dosis media trienal, representada en la gráfica 20, presenta forma de dientes de sierra debido a que en el trienio en cuestión se consideren una o dos recargas ya que Garoña tiene ciclos de recarga de 24 meses.

En este período, Garoña presenta una media trienal inferior a la de los reactores BWR y a los de sus centrales hermanas del grupo GE 2.

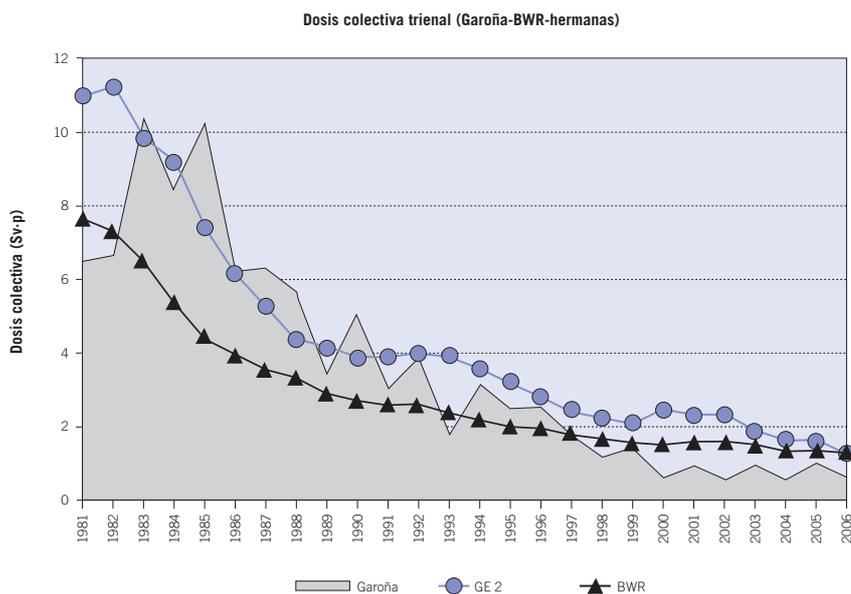
Para las dosis anuales, hay que distinguir dos casos en función de los años en los que hay recarga (dosis similares a las BWR y por debajo de las GE 2) y en los que no (dosis inferiores a ambos grupos).

Hasta finales de los años 90, Santa María de Garoña poseía las dosis colectivas más elevadas de las centrales españolas debido a la edad y al tipo de reactor. Las centrales con el tipo

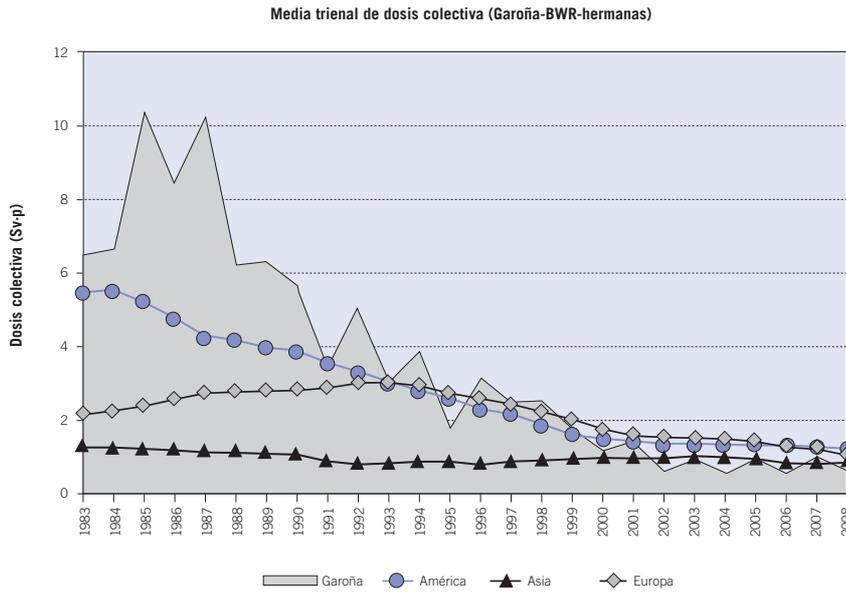
Gráfica 18. Evolución de la dosis colectiva anual de la central nuclear de Santa María Garoña frente a su grupo de centrales comparables (GE 2) y reactores BWR en el mundo



Gráfica 19. Evolución de la dosis colectiva media trienal de la central nuclear de Santa María Garoña frente a su grupo de centrales comparables (GE 2) y reactores BWR en el mundo



Gráfica 20. Evolución de la dosis media trienal de la central nuclear de Santa María Garoña frente a las diferentes regiones del ISOE



de contención de tamaño compacto como el de Santa María de Garoña, presentan una evolución de las tasas internas de radiación especialmente sensible a la acumulación del cobalto 60 en las tuberías del sistema de recirculación, que por otra parte tiene la tendencia a crecer en los primeros años de explotación. Como consecuencia de dichas altas dosis y de la sensibilidad a la acumulación del cobalto, la central nuclear de Santa María de Garoña llevó a cabo la instalación de un *Plan de Reducción de Dosis* a lo largo de la década de los 90 con el que se redujeron tanto las tasas de dosis internas de la planta como las colectivas de los trabajadores, superando incluso los objetivos establecidos por el Institute of Nuclear Power Operators (INPO).

Desde un punto de vista histórico, algunos de los hitos más destacados que explican tanto ciertos máximos como la contribución a esa tendencia decreciente iniciada a principios de los 90 son los siguientes:

- 1985 fue el año con la dosis más alta en toda la historia de las centrales nucleares españolas. Dicho año se realizaron en la central nuclear de Santa María de Garoña importantes modificaciones de diseño, como fue la sustitución de las tuberías de recirculación con un alto coste radiológico, (dosis anual de 20 Sv-p).
- 1994 fue un año de recarga en el que se dio un gran salto en la reducción de dosis. En

1994 se bajó desde los aproximadamente 6,5 Sv·p de dosis colectiva anual de 1992 (5,3 Sv·p en la recarga) a un valor de 4 Sv·persona (3,3 Sv·p en recarga). Además de la reducción de la dosis en recarga se observó también una reducción notable en la dosis en operación normal.

- 1996 fue un año de recarga acumulando ella sola el resultado de 4,2 Sv·p. Dicho resultado no fue todo lo satisfactorio que cabría esperar tras los resultados de 1994 y puede atribuirse en parte a los trabajos de sustitución de los intercambiadores de calor del *clean-up*, reflejado en el “Sistema de depuración del agua del reactor”, tarea que normalmente no implicaba dosis significativas con excepción de este año que alcanzó un valor de 640 mSv·p.
- En 1997, a pesar del resultado de 1996 se volvió a confirmar la tendencia decreciente que marcó la década de los 90 (dosis anual de 2 Sv·p). Durante la recarga de ese año se realizaron una serie de trabajos importantes como la reparación del barrilete de la vasija del reactor, sustitución de válvulas del sistema de recirculación y de los calentadores del agua de alimentación, unido a una serie de inspecciones programadas, se consiguió un resultado récord de 1,6 Sv·p en la recarga.
- En 1999, la dosis colectiva anual alcanzó el valor de 2.683 mSv·p. Ese año fue un

año importante en el objetivo de reducir el término fuente. Dicho año se implantaron tres medidas de reducción del término fuente: descontaminación química de los lazos de recirculación, instalación de un sistema de filtrado del condensado previo a su desmineralización e instalación de un sistema de inyección de Fe (soluble) y Zn empobrecido. Estas técnicas supusieron la fase final de un plan encadenado de reducción del término fuente que Nuclenor comenzó con la sustitución de los cambiadores de calor del *clean-up* en 1996.

Estos trabajos supusieron un mayor alcance con respecto a los de la anterior recarga. Adicionalmente a los trabajos planificados, surgieron durante el desarrollo de la recarga imprevistos que originaron una ampliación en su alcance y la consiguiente desviación respecto a las estimaciones iniciales de dosis. Estos fueron: trabajos no contemplados en la ventilación del pozo seco, trabajos de inspección mecanizada por ultrasonido en las toberas N2 de los lazos de recirculación y trabajos en el calorifugado del pozo seco.

- Además de la reducción de la dosis en recarga, en la gráfica 20 también se puede observar, consecuentemente, que la dosis colectiva en operación normal en los años

sin recarga (1989, 1991, 1993, 1995 y 1998), siguió una evolución descendente.

El período 2000-2008 ha estado marcado por records consecutivos de mínimos históricos anuales tanto para los años de recarga (1,29 Sv·p en 2001, 1,24 Sv·p en 2003 y un ligero repunte en 2005 con 1,31 Sv·p y en 2007 con 1,55) como para los años sin parada de recarga (311 mSv·p en 2000, 249 mSv·p en 2002, 227 mSv·p en 2004, 173 mSv·p 2006 y 353 en 2008).

En 2001 la dosis anual fue 1.286 mSv·p, reduciéndose a más de la mitad la dosis de 1999 año anterior con parada de recarga. La dosis colectiva final de la recarga de 2001 fue de 1.034 mSv·p frente a una estimación inicial de 1.700 mSv·p para el conjunto de actividades a desarrollar. Este valor supuso en su momento la menor dosis colectiva de parada de la historia de Santa María de Garona. La dosis colectiva media trienal fue de 1,23 Sv·p en 2000 y de 1,43 Sv·p en 2001 suponiendo una importante reducción respecto a la media de años anteriores.

Desde el punto de vista radiológico, un trabajo importante fue la modificación de las líneas internas del sistema de rociado del núcleo (*core spray*). Este trabajo fue realizado por buzos desde el interior de la vasija, pese a ello la dosis colectiva asociada no fue elevada, 60,7 mSv·p en parte debido a que el personal participante estaba altamente cualificado y

había realizado entrenamientos en maqueta y que las tasas de dosis en esa parte de la vasija, por encima de la parte superior de la zona activa de los elementos combustibles, no eran muy elevadas.

El factor de recontaminación tras la descontaminación química de 1999 fue inferior al esperado por General Electric. El cálculo de GE, mediante un código de transporte de cobalto, predecía una tasa de dosis media de los puntos BRAC para la parada de 2001 de 0,9 mSv/h. (BRAC: BWR Radiological Control and Assessment, son cinco puntos estándar de media por lazo tomados a 40 horas de la parada del reactor). La dosis media real para estos puntos fue 0,47 mSv/h. En cuanto a los niveles de radiación en ambiente en el pozo seco, estos sufrieron una notable disminución por efecto de las distintas técnicas de reducción del término fuente finalizadas en 1999.

En 2002 la media trienal fue la más baja de la historia de la central marcando además otro hito: situarse por debajo de 1 Sv·p. La dosis anual de ese año fue 249 mSv·p lo que suponía un nuevo record para las dosis colectivas de años sin recarga en la central.

En 2003, la dosis anual fue 1,24 Sv·p y la dosis de recarga 949 mSv·p. Estos valores suponían respectivamente de nuevo mínimos históricos. La dosis media trienal fue 924 mSv·p siendo el primer año, contabilizando dos años con

parada, en que se bajaba de 1 Sv·p. Los niveles de radiación en ambiente en el pozo seco sufrieron una notable disminución por efecto de las distintas técnicas de reducción del término fuente ya comentadas. Estos efectos continuaron patentes, si bien se observó una ligera y esperada recontaminación. Además de los buenos resultados de tasas de dosis, un hecho importante que influyó en los buenos resultados de la recarga fue la cuidadosa planificación que la organización de Nuclenor puso en marcha, que se tradujo en una cifra record de 23 días de parada, lo que propició la reducción de dosis.

En 2004 no hubo parada de recarga. La dosis colectiva anual de 227 mSv·p suponía de nuevo un mínimo histórico para un año sin recarga al igual que la dosis colectiva media trienal contabilizada con dos años sin recarga.

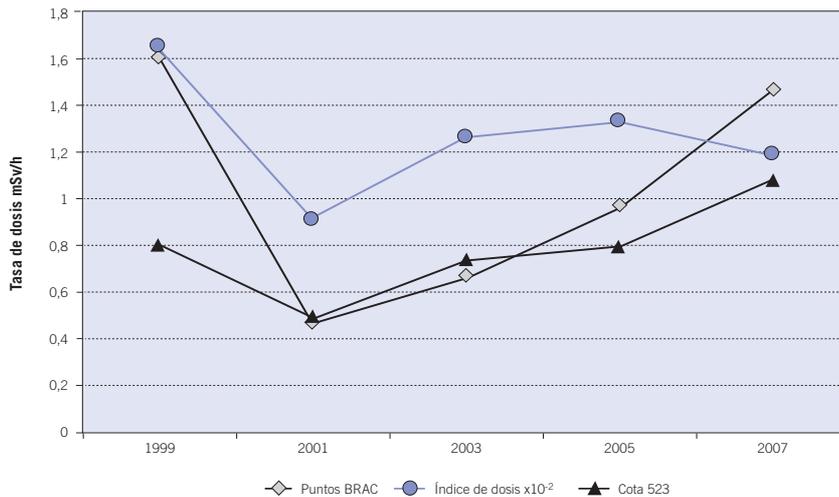
En 2005, la dosis anual fue de 1,31 Sv·p y la dosis operacional de recarga de 1,1 Sv·p. El resultado de la dosis anual se incrementó ligeramente respecto a la anterior parada. La dosis de recarga se incrementó asimismo ligeramente respecto a la de 2003, principalmente debido a un mayor alcance de los trabajos: se realizó la prueba integral de fugas y hubo un mayor número de inspecciones en las penetraciones de los CRD's. Al realizarse estos trabajos en el interior de la cavidad, hubo que drenar y posteriormente llenar la misma. La dosis trienal fue 925 mSv·p supo-

niendo un nuevo record respecto a los años en que se contabilizan dos años de recarga.

Respecto a las tasas de dosis en el pozo seco se continuó observando una tendencia al alza en los valores medidos como consecuencia de la recontaminación. Para una mejor visualización de la evaluación de las tasas de dosis se presenta en la siguiente gráfica la comparación de la evolución de diferentes indicadores de los niveles radiológicos de la planta. Los indicadores radiológicos presentados son los puntos BRAC (BWR Radiological Control and Assessment, son cinco puntos estándar de media por lazo tomados a 40 horas de la parada del reactor), el índice de dosis (dosis colectiva de la recarga entre el número total de horas) y tasa de dosis en pozo seco. Como puede apreciarse, los tres indicadores revelan un mismo comportamiento o tendencia; tras la recarga del 99 cuando se realizó la descontaminación de los lazos, los niveles disminuyeron drásticamente para continuar en las siguientes recargas con una tendencia alcista que aún continua, siendo dicha tendencia más o menos acusada en función del parámetro analizado.

En 2006 no hubo parada para recarga. La dosis anual fue 173 mSv·p y la dosis media trienal 570 mSv·p volviendo a resultar en mínimos históricos desde el comienzo de operación de la central y situando a Garoña de nuevo por debajo de las centrales de su grupo y de todos los reactores tipo BWR.

Gráfica 21. Indicadores de niveles de radiación



La recarga de 2007 terminó con unas dosis colectivas de 1.187 mSv·p, ligeramente por encima de las de la anterior recarga. La dosis anual (1,55 Sv·p) y la dosis media trienal (1,01 Sv·p) fueron también algo mayores que las de años precedentes. Dicho aumento es atribuible a un incremento progresivo desde 2001 en las tasas de dosis combinada con una mayor carga de trabajos, en particular el mayor alcance de los trabajos de inspección mecanizada, junto con el gran alcance de los trabajos de desmontaje y montaje de calorifugado que tuvieron que ser realizados en localizaciones de alta tasa de dosis en el pozo seco.

En 2008 no hubo parada de recarga y se obtuvieron valores anuales de 343 mSv·p y medias trienales de 690 mSv·p lo que parece confirmar la recontaminación de los sistemas.

En definitiva, y pese al ligero incremento de los últimos años, puede decirse que los bue-

nos resultados que viene consiguiendo Santa María de Garoña son fruto de las actuaciones que desde 1993 viene desarrollando Nuclenor con vistas a la plena integración de la protección radiológica en la planificación y ejecución de las actividades de la central. Dicha estrategia se traduce en un compromiso de la dirección de la central con el principio de optimización, que se ha concretado en:

- El establecimiento de un plan gradual para la reducción del término fuente para contrarrestar el aumento de los niveles de radiación asociados a la inyección de hidrógeno (la inyección de hidrógeno penaliza los trabajos de mantenimiento fundamentalmente en operación normal).
- Una mayor eficacia y una mejoría general en la gestión y la organización de los trabajos de recarga y de los trabajos radiológicamente significativos.

Desde el punto de vista internacional, Garoña presenta un descenso significativo en las dosis tras las medidas adoptadas ya mencionadas desde 1993. Anteriormente a 1999 la dosis colectiva anual y en recarga era siempre superior a su grupo (GE 2) y tipo de reactor (BWR).

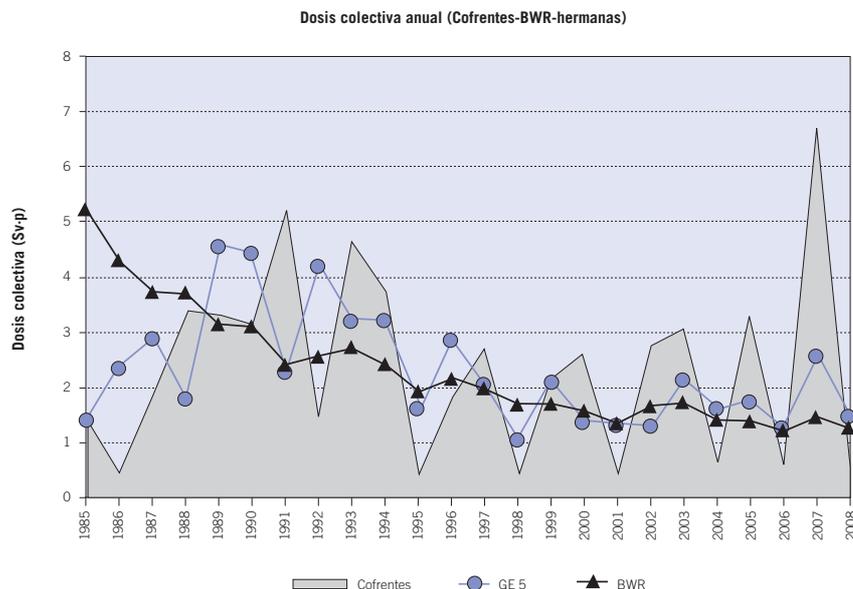
En el período 2000-2008 Santa María de Garoña se ha situado por debajo de la media mundial de reactores BWR. En este período, Garoña presenta una media trienal inferior a la de los reactores BWR y a los de sus centrales hermanas del grupo GE 2. Para las dosis anuales, hay que distinguir dos casos, en función de los años en los que hay recarga, en que las dosis de Garoña son similares a las BWR y por debajo de las GE 2, y en los años

que no hay recarga en los que las dosis de Garoña son inferiores a ambos grupos.

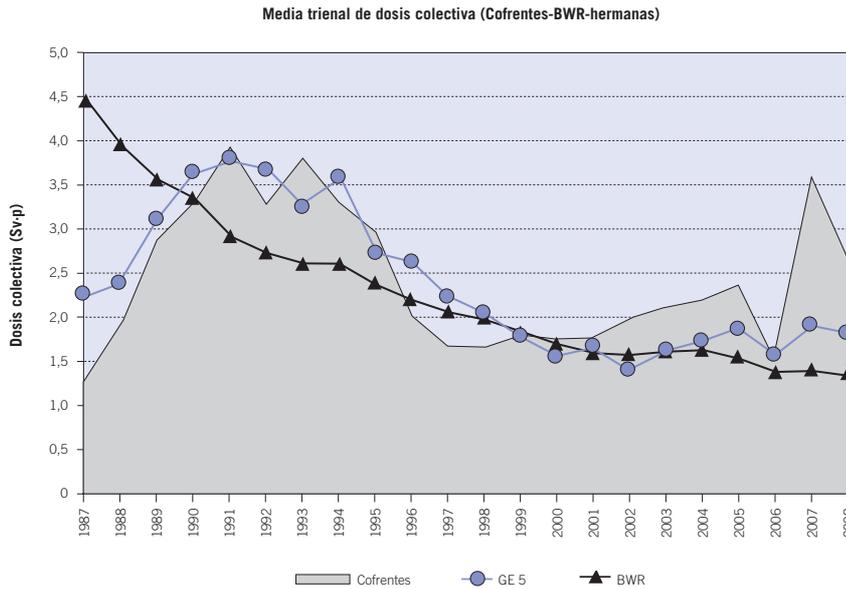
IV.1.2. Central nuclear de Cofrentes

La central nuclear de Cofrentes comenzó su operación en 1984. Desde entonces ha cambiado en cuatro ocasiones la duración de su ciclo de operación: la primera en 1991 pasando a ciclos de 18 meses, la segunda en 2003 pasando a 20 meses, la tercera en 2005 pasando a 22 y la última en 2007 donde se ha pasado a un ciclo de 24 meses. Por otro lado, es la central española que ha experimentado más aumentos de potencia desde el inicio de su operación, en concreto cuatro (1988, 1998, 2002 y 2003), siendo la potencia actual de 111,85%.

Gráfica 22. Evolución de la dosis colectiva anual de la central nuclear de Cofrentes frente a su grupo de centrales comparables (GE 5) y reactores BWR en el mundo



Gráfica 23. Evolución de la dosis media trienal de la central nuclear de Cofrentes frente a su grupo de centrales comparables (GE 5) y reactores BWR en el mundo



El período 2000-2008 se ha caracterizado por una evolución creciente de las dosis tanto para los años con recarga como para los años sin recarga, para la dosis colectiva anual y para la dosis colectiva media trienal desde el año 2000 hasta 2005. Dicha tendencia se rompe en 2006, año sin parada de recarga. Sin embargo, se ha producido de nuevo un elevado incremento en las tasas de dosis en el pozo seco medidas en 2007, que coincidiendo con el gran alcance de la parada de 2007, principalmente debida a la modificación de los CRDH, originaron unas dosis superiores a 4 Sv·p que no se observaban en la central de Cofrentes desde mediados de la década de los 90 y que la han situado en clara desventaja en el contexto internacional.

Desde el punto de vista histórico, algunos de los hitos más relevantes con impacto en las dosis ocupacionales que permiten entender mejor la evolución anteriormente descrita son los siguientes:

- 1991 fue el año de mayor dosis histórica anual y el único en el que se superaron los 5 Sv·p. Estas altas dosis fueron atribuibles a la realización de las pruebas MSIP, la inspección de toberas, problemas surgidos en la sustitución de LPRM's y la repercusión negativa que supuso no poder contar con el personal experimentado contratado en otras recargas.
- En 1994, la central nuclear de Cofrentes aplicó su Plan Director de Reducción de Dosis considerando tres líneas básicas:

mejora de la gestión, reducción del término fuente y reducción de los tiempos de exposición. Se fijó un objetivo parcial de dosis colectiva para la recarga por debajo del fijado en el propio Plan Director y se estipuló una cláusula de “bonificación-penalización” con el contratista principal. Asimismo se redujo el número de contratistas para minimizar interferencias entre actividades y disminuir tiempos. Relacionado con las mejoras anteriores, se asignó a cada sección de la central nuclear de Cofrentes un presupuesto de dosis colectivas. Estas acciones combinadas con una menor duración de la recarga vieron su fruto en la recarga de 1996 donde las dosis se redujeron a la mitad respecto a las del 1994.

- A partir de 1996, Cofrentes puso en marcha el Proyecto ORE, plan de recargas alternas corta (20 días) y larga (40 días). La diferencia en el alcance de estas recargas se puede apreciar en términos de dosis colectiva en 1996 que fue recarga corta y en 1997 que tuvo lugar la recarga larga.
- En 1997 se inició en Cofrentes la inyección de hidrógeno, al igual que en Santa María de Garoña y otras centrales BWR, como medida preventiva para evitar fenómenos de corrosión intergranular bajo tensión en los internos de la vasija.
- En la parada de recarga de 1999 (undécima recarga), se efectuaron reparaciones

del Shroud y otras actuaciones en el sistema de recirculación (revisión y cambio de internos de la válvula B33F067B y modificación a 4ª generación de la bomba B33C001B). La reparación del Shroud repercutió negativamente sobre las condiciones radiológicas generales de la planta.

El período 2000-2008 comenzó con un incremento en la dosis anual con respecto al año 1999, año en que también hubo parada. La media trienal permaneció en valores similares a los del 1999.

El año 2000, la tarea más importante desde el punto de vista radiológico fue la inspección de la vasija (406 mSv·p) debido al incremento en las tasas de dosis en el pozo seco. Las operaciones de sustitución de los haces del condensador realizadas ese año tuvieron una escasa relevancia radiológica, si bien era un trabajo de gran envergadura por el número de horas por persona empleadas y por la complejidad de las operaciones y volumen de materiales a sustituir. El incremento de los niveles de radiación en el pozo seco (el nivel medio de radiación aumentó con respecto a la undécima recarga un 8,13% en el lazo A y 9,96% en lazo B). El aumento de las tasas de dosis en el pozo seco se asoció a la inyección de hidrógeno iniciada en 1997. Según la denominación empleada por General Electric y la evolución de las tasas de dosis, la central nuclear de Cofrentes se situaba en la banda de centrales de “alto

impacto radiológico” como consecuencia de la química del hidrógeno. La creciente preocupación por el incremento de las tasas de dosis en el pozo seco llevó a la central nuclear de Cofrentes a realizar una descontaminación química en la siguiente parada del año 2002.

El año 2001 fue un año sin recargas ni sucesos significativos finalizando el año con la segunda dosis más baja de su historia, 471 mSv·p.

El año 2002, la central nuclear de Cofrentes realizó una parada para recarga finalizando el año con una dosis colectiva de 2,8 Sv·p y una dosis media trienal de 1,97 Sv·p. Con este resultado, la central nuclear de Cofrentes retrocedía a valores no observados desde 1997 con el tercer valor más alto anual del período 2000-2008. Durante la recarga de 2002 se realizó la descontaminación química de los lazos de recirculación y del sistema de purificación del agua del reactor, mediante el proceso CORD de Siemens. La descontaminación no pudo realizarse de forma completa, pudiéndose efectuar sólo la descontaminación de la parte baja del sistema de recirculación del reactor, debido a un fallo de la estanqueidad del sistema, producido por fugas en los sellos de uno de los tapones ciegos de la tobera de aspiración. Este fallo se produjo durante las pruebas del sistema con agua desmineralizada, en las que se observó que el circuito fugaba hacia la vasija, por lo que la central nuclear de Cofrentes optó por no realizar

esta prueba y descontaminar la parte más baja del sistema de recirculación. Sin embargo la dosis operacional de recarga de ese año fue ligeramente inferior a la estimada inicialmente debido fundamentalmente al menor alcance de algunos trabajos previstos en el pozo seco y menor duración de trabajos como el movimiento de combustible y *sip-ping* y extracción de LPRMs.

En 2003, la dosis anual de esta central fue de 3,1 Sv·p, superando la barrera de los 3 Sv·p que se habría logrado rebajar en 1994. Este valor es el tercero más alto del período 2000-2008. La media trienal fue de 2,1 Sv·p continuando con la tendencia alcista iniciada en el comienzo del período. La dosis colectiva de la decimocuarta recarga de combustible de la central nuclear de Cofrentes (2003) estuvo marcada por el inesperado aumento de las tasas de dosis en las tuberías de recirculación que afectó a la parte inferior del pozo seco. Como consecuencia, la dosis colectiva de la recarga (2,83 Sv·p) aumentó en 1 Sv·p con respecto a la primera estimación previa a la recarga. La duración de la recarga fue de 30 días, del mismo orden que la de la parada de 2002.

El trabajo de modificación a 4ª generación de la bomba A del sistema de recirculación fue el de mayor carga radiológica de la recarga (16% del total de la dosis de recarga) por el alcance y la zona de ejecución, agravado por el efecto del aumento de las tasas

de dosis y por una serie de imprevistos y trabajos emergentes.

El incremento de las tasas de dosis fue de aproximadamente tres veces, en media, en puntos en contacto con las tuberías (puntos BRAC) y de dos veces en las áreas generales inferiores del pozo seco. El incremento fue uniforme y general, sin la existencia de puntos calientes. La central nuclear de Cofrentes realizó un análisis de causa raíz de dicho incremento concluyendo que las altas tasas de dosis observadas en la decimocuarta recarga habían sido debidas a procesos de reestructuración de las películas de los óxidos de corrosión. El potencial electroquímico, ECP, se redujo considerablemente al comienzo del ciclo 14, por la baja concentración de cobre en el refrigerante (por la sustitución de los tubos de condensador en 2000 y elementos combustibles con cobre). En este ambiente reductor se reestructuraron los óxidos de cobre haciendo que la nueva capa de corrosión fuese más gruesa y que atrapase más cobalto. Dicho fenómeno del efecto del cobre no se conocía con exactitud previamente. Entre las acciones derivadas de dicho incremento, la central nuclear de Cofrentes decidió realizar una nueva descontaminación química en la siguiente parada de 2005. Entre las acciones a medio y largo plazo recomendadas por EPRI para la reducción de dosis fueron las de minimizar los ciclados de hidrógeno, incrementar el Zn en el agua del reactor, operar con el RWCU a su máxima capacidad y reducir el termino fuente de Co-60.

El año 2004 fue un año sin parada de recarga. Sin embargo se realizó una parada no programada de 10 días en mayo con objeto de sustituir dos elementos combustibles dañados. La dosis colectiva recibida durante esta parada forzosa fue de 238 mSv·p. La dosis anual fue de 0,7 Sv·p y estuvo afectada por el incremento de las tasas de dosis medido en la anterior recarga. La media trienal continuó incrementándose. Durante dicha parada forzosa, las tasas de dosis en el pozo seco medidas fueron un 12% inferiores a los altos valores registrados en la última parada para recarga en octubre de 2003, que como se ha mencionado anteriormente, fueron un 300% mayores que los valores usuales. Dicha reducción en los valores de tasa de dosis parecía indicar que el plan de acciones correctivas desarrollado hasta la siguiente recarga de 2005 estaba siendo efectivo.

El año 2005 finalizó con una dosis colectiva anual de 3,3 Sv·p siendo en su momento el valor más alto desde 1994. La media trienal subió significativamente debido a incluir dos años con parada de recarga y dos años con dosis por encima de las esperadas. El resultado de dosis asociado a la parada de recarga (2,93 Sv·p) la situó con el resultado de dosis colectiva más alto desde 1991 y con la duración más larga (81 días frente a 35 días previstos inicialmente) en la historia de la central nuclear de Cofrentes. Estos resultados radiológicos de la parada estuvieron condicionados por dos hitos principales:

- El primero de ellos fue la descontaminación química que se realizó principalmente en el sistema de limpieza del agua del reactor (G33) y en el sistema de circulación del agua del reactor (B33). Como se ha mencionado anteriormente, se decidió llevar a cabo esta descontaminación en la anterior parada de recarga suponiendo la medida más definitiva en cuanto a la reducción de los niveles de radiación tras el incremento inesperado en las tasas de dosis de las tuberías de los sistemas G33 y B33 que afectó a las tasas de dosis en área en las cotas inferiores del pozo seco. La mayoría de los trabajos en los sistemas B33 y G33 se realizaron después de la descontaminación química con el fin de beneficiarse radiológicamente de la reducción en las tasas de dosis.

Los resultados de la descontaminación química en términos de los factores de descontaminación (FD) en contacto obtenidos, fueron de forma general más altos de los solicitados (FD contacto >25 y FD área >5), especialmente en el pozo seco, que es la zona donde habitualmente se recibe más del 70% de la dosis colectiva de cada recarga. En base a estos resultados se valoró que la descontaminación química realizada en los sistemas B33, G33 y E12 había corregido drásticamente el fuerte incremento inesperado de las tasas de dosis producido en el pozo seco en la decimo cuarta recarga (2003) dejando las tasas de

dosis en el pozo seco tras la decimo quinta recarga con los mejores valores de su historia desde el arranque de la central.

- El segundo hito fue la aparición de trabajos emergentes no programados en el sistema de control hidráulico de los accionadores de las barras de control (CRDHs) que conllevaron una dosis adicional no prevista inicialmente de 771 mSv·p y una mayor duración de la recarga. En concreto, durante la inspección de los tubos del sistema CRDHs se detectaron varios tubos con ligeros goteos en el cuadrante nº 2, motivo por el que fue necesario programar su sustitución antes del arranque del decimosexto ciclo. Este trabajo fue el que más se benefició radiológicamente de la descontaminación química realizada en el B33.

Relacionado con la dosis individual, durante la decimo quinta recarga se produjo un hito asociado a los trabajos de reparación del secador de vapor que precisó la consideración por parte del CSN de Operación Especial Autorizada (la primera de este tipo en España). Durante la inspección realizada al secador de vapor se detectó una grieta vertical, la cual, de acuerdo con las recomendaciones de GE, era necesario reparar antes de su instalación nuevamente en las operaciones del tapado de la vasija. Para la realización de este trabajo se solicitó al Consejo de Seguridad Nuclear la consideración de Operación Especial Autorizada, no por la magnitud de la dosis colectiva

del trabajo (la dosis colectiva recibida, 5,13 mSv·p, fue inferior a la estimada de 18 mSv·p), sino porque algún trabajador americano especialista superaba o podría superar el límite de 100 mSv en 5 años, límite no contemplado en la normativa de EEUU. Se tramitó la solicitud y fue apreciada favorablemente por el CSN.

El año 2006 fue un año sin parada de recarga. La dosis anual fue de 646 mSv·p, la segunda más baja del período que se vio beneficiada de los buenos resultados de la descontaminación llevada a cabo en la parada de 2005. La media trienal fue de 1.6 Sv·p, la más baja del período 2000-2008, y una de las más bajas de la historia de la central, solamente superada en buenos resultados por la primera media trienal (1985-87). A pesar de este fuerte decremento de la dosis trienal (un 34% inferior), la media trienal de la central nuclear de Cofrentes no logró situarse por debajo de la media de su grupo de centrales General Electric ni de la media de todas las centrales BWR.

En el año 2006 se produjo una parada no programada de 10 días (23 de abril a 3 de mayo) con objeto de sustituir algunos elementos combustibles dañados. Durante dicha parada, se tomaron medidas de las tasas de dosis en los puntos BRAC con resultados acordes a la evolución esperada tras una descontaminación química.

En el año 2007 se produjo la decimosexta parada para recarga que terminó con una dosis de 6.950 mSv·p, la mayor de su historia. Ha habido dos hechos fundamentales que han contribuido a este dato. Por una parte, el incremento inesperado de la tasa de dosis medido durante la parada ha afectado considerablemente a la estimación inicial de dosis, de por sí ya elevada por el alcance de los trabajos, y a las tasas de dosis en las zonas donde debían realizarse. Por otra parte, los trabajos de sustitución de los CRDHs que terminaron con una dosis el doble de lo previsto (4,23 Sv·p) elevaron sustancialmente la dosis final. El resto de la recarga (exceptuando los trabajos de los CRDHs) supuso un coste radiológico de 2,69 Sv·p. La media trienal fue de 3,58 Sv·p solo superada por la de 1991. Para un seguimiento más detallado de estas actividades relacionadas con el sistema CRDH, ver el informe final de la decimoséptima parada de recarga del año 2007 (ref. 51).

El año 2008 fue un año sin recarga y se obtuvieron dosis colectivas anuales de 654 mS·p y media trienal de 2,68 Sv·p.

En el contexto internacional, como puede apreciarse en las gráficas 22 y 23, la posición de la central nuclear de Cofrentes durante el período 2000-2008 es la más desfavorable desde su puesta en marcha, con dosis anuales para los años de parada de recarga y dosis media trienales por encima tanto de las de su grupo de centrales comparables (GE 5) como

de la media de todas las centrales BWR a nivel mundial en el contexto del ISOE.

Si nos centramos en la tendencia de la dosis media trienal en la central nuclear de Cofrentes, que suaviza los efectos de años con recargas largas, cortas y sin recarga, se observa (ver gráfica 23) que desde el año 2000 en que la media trienal de la central nuclear de Cofrentes comenzó a situarse por encima pero muy cerca de la media trienal de las centrales de su tipo y su generación, la tendencia alcista ha ido creciendo en magnitud, situándose en 2005 un 25% por encima de la media trienal para sus centrales gemelas y un 55% por encima de la media trienal para todas las centrales BWR.

Salvo en 2006 en que la dosis media trienal disminuyó (al considerarse en su cálculo una única recarga) la dosis media trienal ha acentuado su diferencia respecto tanto a las centrales BWR como a sus centrales gemelas. En el año 2008 estas diferencias eran un 46% superior a la media del grupo GE 2 y duplicaba las dosis del conjunto de BWR.

Desde un punto de vista histórico, la operación de la central nuclear de Cofrentes comenzó con dos recargas por debajo de la media tanto de su grupo GE 5 como del grupo BWR. Hasta principios de los 90 la tendencia de las dosis en recarga y de la media trienal fue creciente, situándose en el año 1991, en lo que respecta a la media trienal, por encima de los dos grupos GE 5 y

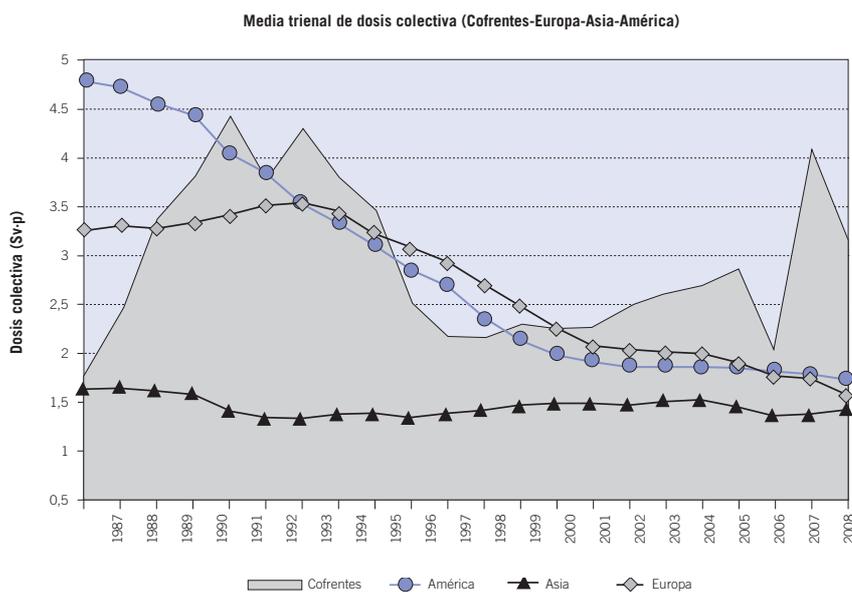
BWR. Los años 90 (1991-1998) estuvieron marcados por una tendencia claramente decreciente, tanto de las dosis en recarga como de la media trienal hasta el punto de que durante los años 1996-1998, la central nuclear de Cofrentes se situó por debajo de los dos grupos, GE 5 y BWR. A partir de 1999 comienza un nuevo período alcista que por el momento no presenta visos de cambiar. Tanto la dosis anual en los años de recarga como la media trienal desde 1999 se encuentran por encima de la media de las centrales comparables y de la media de todas las centrales BWR a nivel mundial.

En relación con las dosis de las centrales americanas (ver gráfica 24), puede decirse que la media trienal de la central nuclear de Cofrentes se situó desde 1996 hasta el año 1998 por debajo de las centrales americanas. A partir de 1999 y hasta 2008, dicha media trienal se sitúa por encima de la media americana. En 2006 hubo dosis por debajo de la media americana, que más que ser atribuibles a mejoras en las dosis asociadas a la parada se debieron a que la media de ese año consideró dos años sin parada.

Con respecto a las centrales europeas, el caso es similar a la comparativa con las centrales americanas.

Los resultados para 2007 y 2008 han terminado con valores de dosis colectiva por encima de todas las demás centrales.

Gráfica 24. Evolución de la dosis media trienal de la central nuclear de Cofrentes frente a las diferentes regiones del ISOE



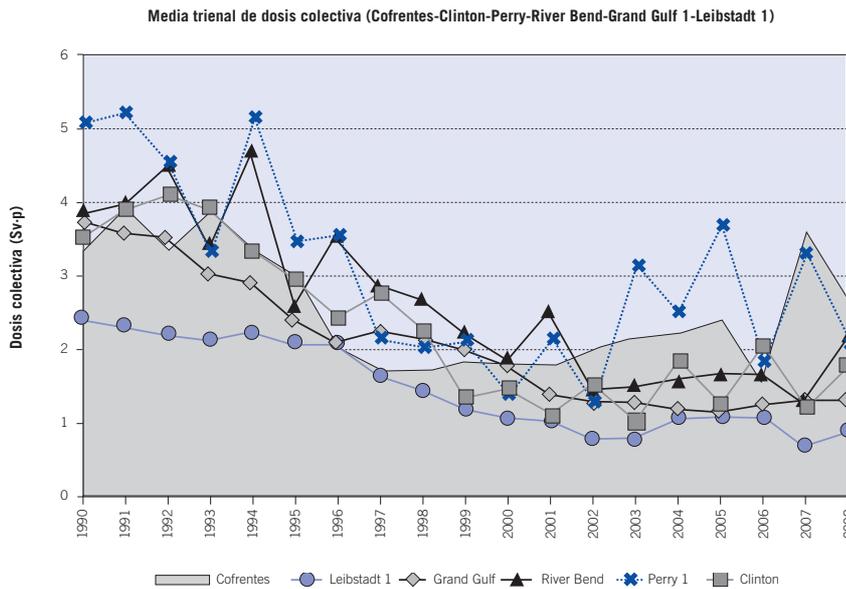
Considerando las dosis medias trienales a nivel de reactor para todas las centrales de su grupo, GE 5 (ver gráfica 25) se puede apreciar que la central nuclear de Cofrentes ha ido perdiendo posiciones desde mediados de los años 90. Desde 2002, únicamente la central de Perry 1 que ha sufrido un incremento importante en sus dosis desde el año 2000 se encuentra con dosis medias trienales por encima de las de la central nuclear de Cofrentes. En la gráfica 25 se puede ver la evolución de la central nuclear de Cofrentes y de la central nuclear de Grand Gulf 1, que es la central con la que viene comparándose la central nuclear de Cofrentes a nivel interno. Como puede apreciarse, respecto a esta central, los resultados dosimétricos no son sólo superiores desde el año 2000 sino que la distancia entre ambas centrales ha ido aumentando

desde esa fecha (excepto en 2006 donde los valores son similares).

Este gráfico pone de manifiesto que el descenso en las dosis colectivas de todas las centrales hermanas americanas de la central de Cofrentes ha sido mayor que el observado en las dosis colectivas de esta central en los últimos años. Mientras que, por ejemplo, Grand Gulf sumaba en el período 1988-1999 la misma dosis que Cofrentes, en el período 2000-2007 sólo ha sumado el 61% del valor de Cofrentes.

Este hecho es similar en las otras centrales ya que todas presentan una disminución en porcentaje con respecto a los valores de dosis de Cofrentes, lo que parece indicar que los esfuerzos realizados por las centrales hermanas americanas de esta central han sido más

Gráfica 25. Evolución de la dosis media trienal de la central nuclear de Cofrentes frente a sus centrales gemelas



efectivos en la reducción de dosis que los realizados por la central nuclear de Cofrentes.

En definitiva, esta central está siendo objeto de especial atención por parte del CSN en relación con la implantación del principio Alara (ref. 59), en particular con vistas para vigilar que se establece un plan de actuación para reducir el término fuente, las dosis individuales y la mejora de la gestión de los trabajos.

IV.2. Centrales PWR

Durante el período 2000-2008, siete reactores tipo PWR estuvieron en operación, cesando uno de ellos (José Cabrera) su actividad para iniciar el desmantelamiento en 2006. Tradicionalmente, se han clasificado estos siete reactores en generaciones de

acuerdo a su época de construcción y tipo de reactor. Así la denominada primera generación PWR española estaba compuesta sólo por la central nuclear José Cabrera que inició su operación en 1968, la segunda generación de plantas PWR española la integraban las centrales nucleares Almaraz I y II, y Ascó I y II. Por último, la tercera generación estaba integrada por dos centrales de muy diferente diseño: Vandellós II y Trillo. A lo largo de los años, los diferentes reactores han experimentado modificaciones de diseño que hacen que dicha agrupación pierda en cierto modo su sentido, si bien es cierto que por ejemplo en el caso de las centrales de segunda generación, las modificaciones han sido muy similares. Por este motivo, en el presente informe, no se presentarán las centrales agrupadas en generaciones sino de forma individual. No obstante

se hará referencia a ellas en los casos en los que sea oportuno para explicar las dosis históricas.

IV.2.1. Primera generación de reactores PWR

IV.2.1.1. Central nuclear José Cabrera

La central nuclear José Cabrera comenzó su operación en 1968 y terminó su explotación comercial el 30 de abril de 2006. El período de análisis en esta central abarca hasta el año 2006. La central no ha cambiado durante toda su vida operativa la duración del ciclo ni ha experimentado ningún aumento de potencia. La denominada primera generación PWR española está compuesta sólo por la central nuclear José Cabrera.

Desde un punto de vista histórico, las dosis colectivas de la central nuclear José Cabrera han estado marcadas por los siguientes hitos:

- De 1983 a 1985 se efectuaron en la central nuclear José Cabrera modificaciones de seguridad generadas a partir de las lecciones aprendidas del accidente de la central estadounidense de TMI que se saldaron con los máximos históricos de dosis colectiva de la central.
- A continuación, la central atravesó una etapa de disminución sostenida de dosis colectiva en el período comprendido de 1986 a 1993. En este período se bajó de cifras cercanas a los 4 Sv·p hasta cifras cer-

canas a 2 Sv·p en 1992 y 1 Sv·p en el 1993, aunque se debe señalar que en 1993 no hubo recarga.

- A esta tendencia clara de disminución de la dosis colectiva le siguieron unos años, de 1994 a 1997, en los que no se podían deducir los comportamientos futuros en dosis colectivas, pues la planta se vio sometida a una serie de vicisitudes y de modificaciones de diseño importantes. Así, desde comienzos de 1994 permaneció parada durante 17 meses para reparación de grietas en la tapa de la vasija. En 1995 tuvo una recarga de corta duración que supuso unos 1.500 mSv·persona y en 1996 no tuvo recarga. Esto se unió a que en 1997, en la vigesimoprimera recarga, se completaron una serie de modificaciones de importancia en la central (cambio de tapa de la vasija del reactor, retaponado de tubos del generador de vapor, inspección de las penetraciones de fondo de la vasija del reactor, sustitución de cámaras del NIS)
- En los años 1998 y 1999, la central nuclear José Cabrera mostró un buen comportamiento de la dosis colectiva anual y en recarga con dosis anuales cercanas al Sv·p, valor que en su momento se apreciaba favorable para una central con los años de operación de la central nuclear José Cabrera. Por lo tanto, a finales de la década de los 90, parecía constatar el hecho de que la gestión Alara de la planta,

más las menores tasas de radiación ambiente logradas tras la sustitución de la tapa y una mejora de las condiciones químicas del primario, y la ausencia de problemas que aumentarían el tiempo de trabajo, estaban dando resultados positivos. Se debe hacer notar que el conseguir una reducción en recarga por debajo del Sv·p dosis colectiva suponía un logro para una central del diseño y años de funcionamiento de la central nuclear José Cabrera.

El período 2000-2006 se ha caracterizado por la progresiva disminución de las dosis colectivas anuales atribuible, por un lado, a la repercusión en las dosis colectivas anuales y de recarga de las operaciones y modificaciones acometidas en la central durante la década de los 90 y, por otro, al hecho de que en abril de 2006 se produjo el cese definitivo de la central.

En efecto, el 14 de octubre de 2002, por Orden Ministerial ECO/2757 se anunciaba el cese definitivo de explotación de la central nuclear José Cabrera para el año 2006, y el 30 de abril, tras 38 años de operación comercial, la central nuclear José Cabrera cesó su explotación. De esta manera, la central, pionera dentro del parque nuclear español, se convertía en la segunda central que iniciaba su desmantelamiento y clausura en España, y la primera que aborda el proceso de una manera planificada ya desde sus últimos años de operación. La parada definitiva de la central nuclear quedó establecida en su última

autorización de explotación otorgada en el año 2002. El 20 de abril de 2006, conforme a lo previsto, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC) declaró el cese definitivo de su explotación dando paso a la transición que llevará a la planta a su desmantelamiento, cuyo inicio será en el año 2010. En febrero de 2010, se ha producido el cambio de titularidad de la instalación de Unión Fenosa a Enresa quien se hará cargo de las labores de desmantelamiento.

Se resumen a continuación los principales hitos con influencia en las dosis colectivas durante el período 2000-2006.

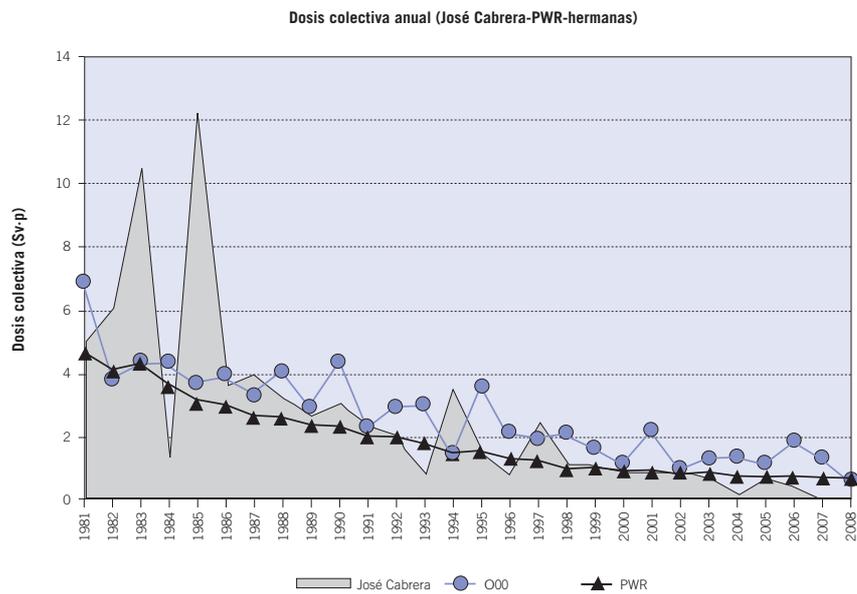
En 2000 la dosis colectiva anual fue de 863 mSv·p y la dosis media trienal de 998 mSv·p. La dosis en recarga fue de 635 mSv·p. Tanto la dosis en recarga como la media trienal de la dosis colectiva suponían mínimos históricos en la central.

En 2001 la dosis colectiva anual fue de 856 mSv·p y la dosis media trienal 998 mSv·p. La dosis en recarga fue de 588 mSv·p. Ese año se implantaron modificaciones de diseño con un alcance importante entre las que cabe destacar: instalación del panel de abandono temporal, soportado de líneas de diferentes sistemas y motorización de válvulas de inspección de seguridad (IS). Por ese motivo se valora positivamente la reducción en la dosis colectiva respecto a la anterior recarga para un alcance mayor de los

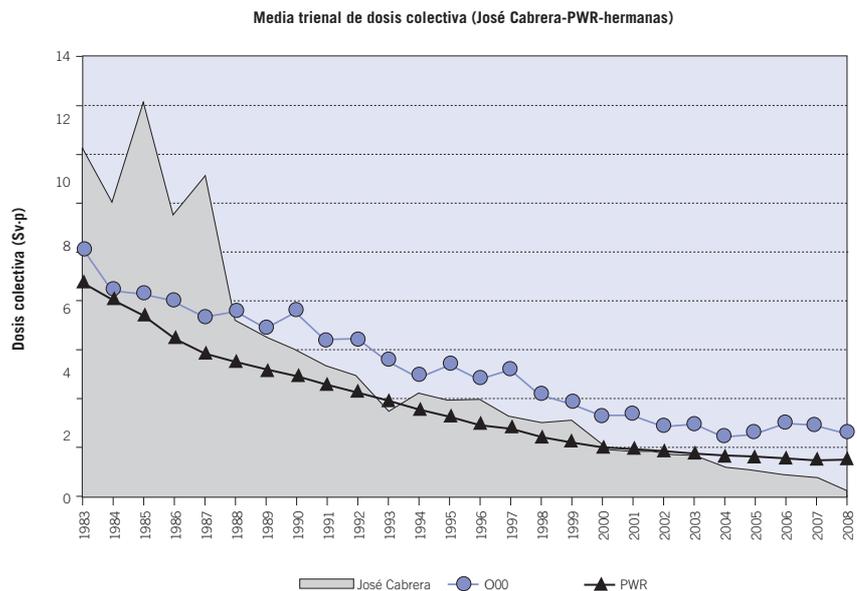
trabajos. Por otra parte en esa recarga se emplearon dos sistemas de dosimetría DLD,

el que se venía utilizando en anteriores recargas (Eberline) y un nuevo sistema (Ídositec).

Gráfica 26. Evolución de la dosis anual de la central nuclear José Cabrera frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Gráfica 27. Evolución de la dosis media trienal de la central nuclear José Cabrera frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



En 2002, la dosis colectiva anual fue de 835 mSv·p y la media trienal de 854 mSv·p. La dosis en recarga fue de 560 mSv·p. Los tres valores suponían una reducción respecto a los del año anterior y en el caso de la dosis colectiva media trienal y la dosis en recarga, de nuevo representaban mínimos históricos. Ese año, la duración de la recarga fue significativamente larga (53 días) debido a un problema acontecido durante la extracción de los internos superiores cuya reparación requirió la autorización del CSN, lo que retrasó aún más la finalización del trabajo.

En 2003 la dosis colectiva anual fue de 652 mSv·p y la media trienal de 784 mSv·p. La dosis en recarga fue de 455 mSv·p. Al igual que en 2002, los tres valores suponían una reducción respecto a los del año anterior y en los tres casos representaban mínimos históricos. Ese año, la central sufrió un importante retraso en reanudar la operación debido a distintas pruebas para la comprobación de los caudales de agua de los sistemas de IS y de componentes y la búsqueda de partes sueltas en la vasija y en los elementos de combustible. Dicha prolongación de la recarga más allá de lo previsto no tuvo consecuencias en la dosis colectiva. Por otro lado, como se ha comentado, se produjo una considerable reducción de las dosis anuales debido, básicamente, a una ligera disminución en las tasas de dosis en contención por una menor actividad en el circuito primario (ausencia de defectos en el combustible,

buena química del primario...) y al menor número de intervenciones que se realizaron durante la operación normal de la planta por su buen comportamiento.

En total, la recarga tuvo una duración de 60 días, 47 días dentro del 2003 y 13 días en 2004 salvo esos 13 días continuación de la recarga anterior de 2003, no se realizó recarga durante este año. Si bien los 13 primeros días del año se realizaron trabajos correspondientes a la recarga de 2003 estos trabajos sólo significaron 17,85 mSv·p.

La dosis colectiva anual fue de 188 mSv·p y la media trienal de 561. Aunque suponen de nuevo mínimos históricos deben valorarse desde la perspectiva de ser 2004 un año anómalo en el que no hubo recarga.

En 2005 se realizó una recarga de combustible sin incidencias y sin trabajos especiales. La dosis anual fue de 619 mSv·p y la dosis media trienal de 486 mSv·p. La dosis de recarga fue de 327 mSv·p. De nuevo los tres valores suponían mínimos históricos en la historia de la central. A pesar de los buenos resultados anuales, la dosis en operación normal fue ligeramente superior a la esperada por el comportamiento de la planta durante el año con los trabajos imprevistos de sustitución de los sellos de la bomba principal y reparación de una válvula.

El 30 de abril de 2006 se produjo la parada definitiva de José Cabrera. La dosis oficial anual fue de 358 mSv·p. Las dosis de la última parada de la central fueron debidas principalmente a los trabajos de descarga de combustible que implicaron una dosis de 73 mSv·p. Las principales actividades fueron: movimiento de combustible, descontaminación del circuito primario y acondicionamiento de los residuos de operación cuya dosis asociada fue de 176 mSv·p hasta final de año.

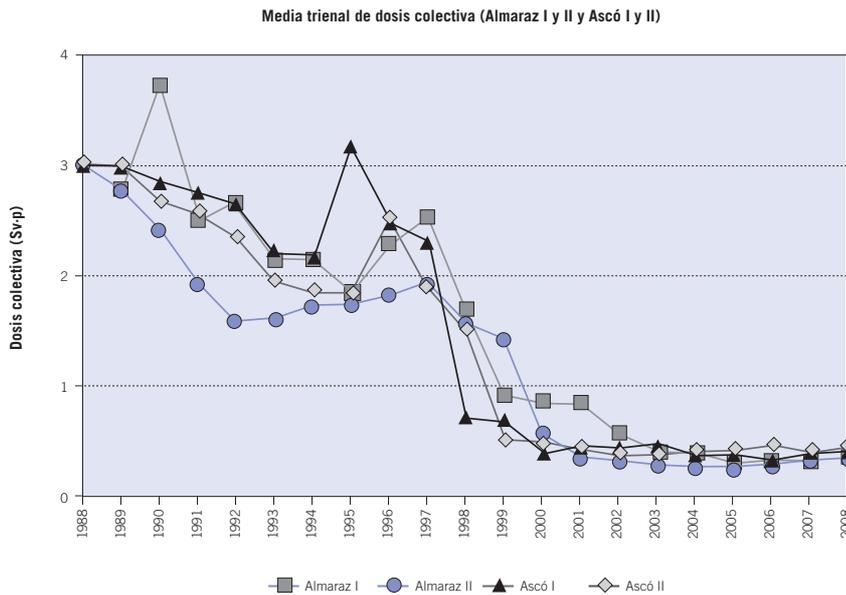
En el contexto internacional, la central nuclear José Cabrera pertenece al grupo O00 que integra los reactores más antiguos en diseño por un determinado constructor. Este grupo incluye 11 plantas de potencia doble o triple y mayor número de lazos. Esta diferencia en potencia y número de lazos es una de las razones por las que tradicionalmente la central José Cabrera se ha situado desde finales de los 80 con dosis inferiores a las de su grupo de centrales comparables. Esa misma posición se ha mantenido durante el período 2000-2006 si bien la distancia respecto a su grupo se ha agrandado teniendo en cuenta la tendencia decreciente en las dosis de José Cabrera, tendencia que no ha compartido su grupo. Respecto a la dosis media trienal de las centrales PWR ISOE, la central José Cabrera se ha situado desde al principio de su operación con dosis superiores a la media. No obstante se pueden distinguir tres etapas bien diferenciadas en esa posición relativa: una pri-

mera etapa desde el principio de la operación de la central hasta principios de los años 90 en que las dosis de José Cabrera se situaban significativamente por encima de las de la media PWR hasta finalizar ese período convergiendo con ellas. Una segunda etapa correspondería desde principios de los 90 hasta el año 2000 en el que las dosis de José Cabrera se sitúan en el límite superior de las dosis del ISOE, y una tercera etapa que coincide con el período de estudio del presente informe en la que tanto la media trienal de las centrales PWR como las de José Cabrera siguen una tendencia claramente decreciente, si bien se invierten las posiciones y las dosis de José Cabrera son inferiores a las dosis del total de centrales PWR.

IV.2.2. Segunda generación de reactores PWR

El emplazamiento nuclear de Almaraz, alberga dos reactores, Almaraz I y Almaraz II, que entraron en funcionamiento respectivamente en 1981 y 1983. Ambos reactores, junto con Ascó I y Ascó II (año de inicio de la operación 1983 y 1985, respectivamente) integran la segunda generación de reactores PWR españoles. El comportamiento de las plantas de la segunda generación en cuanto a la evolución de la dosis colectiva ha sido muy semejante, como puede apreciarse en la gráfica 28: las cuatro unidades han atravesado tres escenarios que han determinado, en gran medida, sus actuaciones y los resultados posteriores.

Gráfica 28. Evolución de la dosis media trienal para la segunda generación de reactores españoles PWR



El primer escenario lo presentaría la situación en la que, tras unos años iniciales en los que se manifestaron los primeros problemas de degradación de los tubos de los generadores de vapor, y en los que se registraron los valores máximos de dosis colectiva entre los años 1985-1987, las cuatro unidades evolucionaron con una dosis colectiva decreciente a pesar del aumento de taponado de tubos y las inspecciones en generadores. A finales de los 80, los trabajos realizados en los generadores de vapor supusieron más de un 50% de la dosis total de las recargas debido a los problemas en las tapas de las toberas y destaponado, mecanizado y rigidi-

zado de tubos, así como el microgranallado de tubos realizados en todas las unidades. Otro hecho reseñable es la campaña de inspecciones de las penetraciones de la tapa de la vasija, a principios de los 90.

El segundo escenario se presentaría entre los años 1995 y 1997 por la ejecución de los trabajos de sustitución de generadores de vapor (PSGV), tapas de la vasija (Almaraz I y II solamente) y eliminación del *by-pass* del sistema RTD (Resistance Temperature Detector) del primario en las cuatro unidades. Estos trabajos supusieron en conjunto los valores siguientes, desglosados por proyecto, en Sv-p:

Planta	Dosis en recarga	Eliminación RTD's	Modificaciones de diseño	PSGV	Total
Almaraz I	1,28	0,37	0,29	1,57	3,51
Almaraz II	1,11	0,32	0,22	1,20	2,85
Ascó I	1,45	0,41	1,1	2,44	5,4
Ascó II	0,85	0,31	0,96	1,69	3,81

Finalmente el último escenario, sería la evolución de la dosis colectiva y en recarga tras los cambios de generadores marcada por una evolución decreciente de la dosis colectiva anual. La dosis media trienal se sitúa al final del período 2000-2008 en valores próximos a 0,35 Sv·p para Almaraz I y II y entorno a 0,45 Sv·p para Ascó I y II. Como causas de esta disminución, debe decirse que el núcleo fundamental de la reducción de dosis para estas centrales ha sido el cambio de generadores de vapor. No obstante, no debe dejar de mencionarse el efecto positivo del cambio de química del primario, la política de inspección del 100% de combustible y en general la aplicación de una gestión Alara globalizada de los trabajos, aplicación que cada vez se encuentra más sólidamente implantada, no sólo en estas centrales, sino también en el resto de centrales españolas.

No obstante, se puede estar produciendo ya una disminución de los efectos positivos en las dosis colectivas tras 10 años del cambio de los generadores de vapor.

Dentro de este último escenario, cabe destacar además dos aspectos:

- Por un lado, de acuerdo a la *ISOE Information Sheet* nº 30 de abril 2002, en el contexto internacional del ISOE, la dosis colectiva durante la sustitución de los generadores de vapor es un 60% más alta que la media de los tres últimos años con

parada de recarga. La dosis colectiva cae en torno a un 55% de la dosis colectiva con anterioridad a la sustitución.

Debe decirse, que para todos los reactores españoles de la segunda generación que han sustituido sus generadores, los valores tanto de la sustitución de generadores como los valores de dosis colectiva posteriores a la sustitución se sitúan por debajo de la media internacional calculada por el ISOE.

- Por otro lado, tras la sustitución de los generadores de vapor se produjo un cambio en la importancia relativa de los trabajos de recarga, desplazándose las mayores cargas radiológicas hacia trabajos menos específicos (trabajos generales, reposición de combustible, válvulas...). Como ya se ha comentado, no sería de extrañar un aumento relativo de las dosis colectivas en los trabajos de los generadores de vapor respecto al total de la dosis de recarga.

IV.2.2.1. Central nuclear de Almaraz (I y II)

Desde la entrada en funcionamiento de las dos unidades de la central nuclear de Almaraz, la tendencia de dosis colectiva ha sufrido una evolución a la baja, desde máximos globales de 4,8 Sv·p en media para las dos unidades en 1985 hasta el entorno de 0,5 Sv·p para los últimos años con recarga.

Desde un punto de vista histórico, las dosis de ambas centrales están marcadas por los siguientes hitos:

- Los años de 1984, 1985 y 1986 constituyen un período de dosis colectivas muy altas causadas por problemas en generadores de vapor, debido a los problemas en las tapas de las toberas y destaponado, mecanizado y rigidizado de tubos en 1984 y en 1985 al microgranallado de tubos en la unidad I, hecho que se repitió en la unidad II en 1986.
- Tras la transición de 1987 se volvió a una dosis colectiva media por grupo en 1988 cercana a los 4 Sv, para, a partir de ahí, reducir la dosis en un Sievert por año desde 1988 hasta 1991, a pesar de la problemática de fondo de los generadores de vapor.
- En 1996, las dosis volvieron a incrementarse por el cambio de los generadores de vapor (PSGV), tapa de la vasija y eliminación del *by-pass* de la RTD's de Almaraz I y en 1997 debido a idénticos proyectos en Almaraz II.
- Tras el PSGV se consiguieron los valores de dosis colectiva en recarga más bajos de la historia de ambas centrales. Dicha disminución puede atribuirse a diversas causas: menor necesidad de inspección y mantenimiento en los generadores de vapor; disminución general de los niveles de radiación por la eliminación de los generadores de vapor viejos y las tuberías de *by-pass* del RTD así

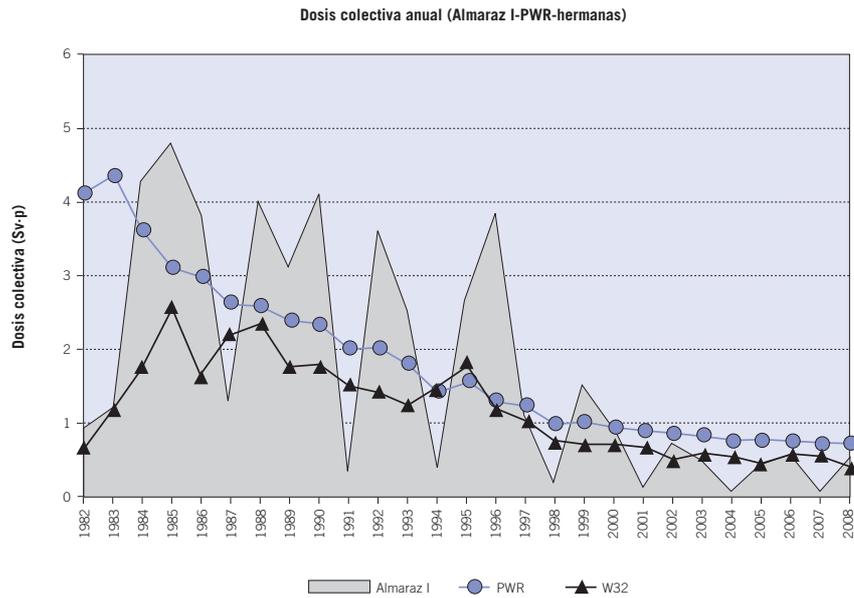
como una mayor madurez de la organización en la aplicación del criterio Alara.

- En el caso de Almaraz I, en 1999 la planta sufrió la rotura de fuente neutrónica secundaria de antimonio con contaminación del primario. Dicha contaminación afectó a las dosis de la recarga de ese año y continuó observándose el impacto de la contaminación residual en las siguientes recargas de esa unidad hasta su completa desaparición.

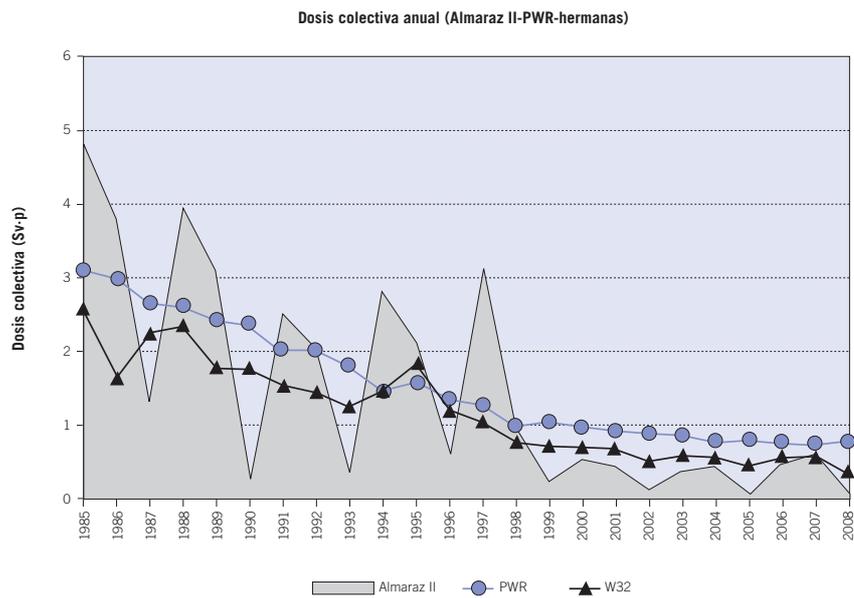
Desde principios de los 90 (1990 en Almaraz I y 1989 en Almaraz II), ambas centrales tienen ciclos de operación de 18 meses lo que se traduce en dos años seguidos con parada de recarga y uno sin parada. Obviamente por la fecha de comienzo del ciclo, existe un año de diferencia en la repetición de este esquema entre ambas centrales lo que hace que cada tres años coincidan las dos unidades en parada. Así. Durante el período 2000-2008, las dos centrales han parado seis de los nueve años, siendo los años sin recarga para Almaraz I, 2001, 2004 y 2007 y para Almaraz II, 2002, 2005 y 2008.

Para ambas centrales, como puede apreciarse en las gráficas siguientes (29 a 32), la evolución histórica ha estado marcada por una tendencia decreciente de la dosis colectiva anual, que en el caso de Almaraz I se vio empañada por el suceso ya comentado de contaminación por antimonio a causa de la rotura de una fuente secundaria.

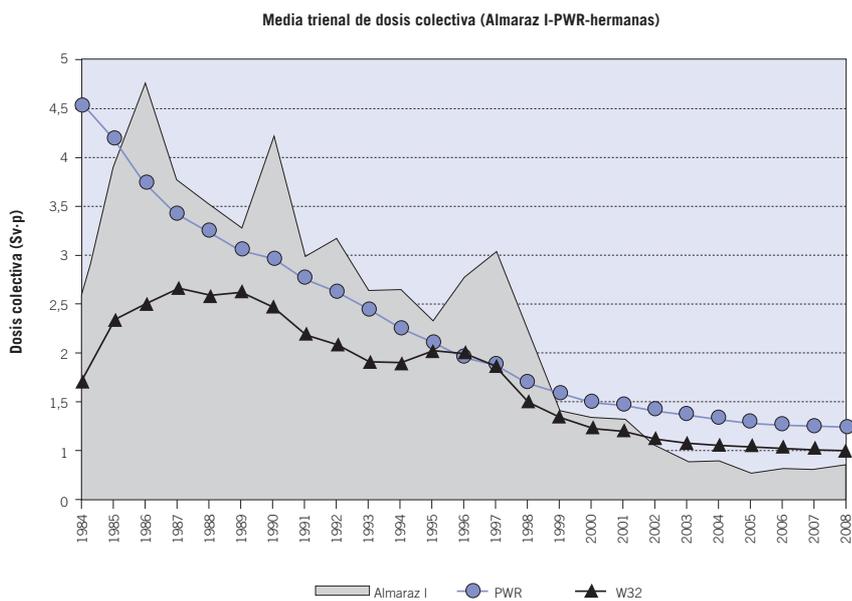
Gráfica 29. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Almaraz I frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



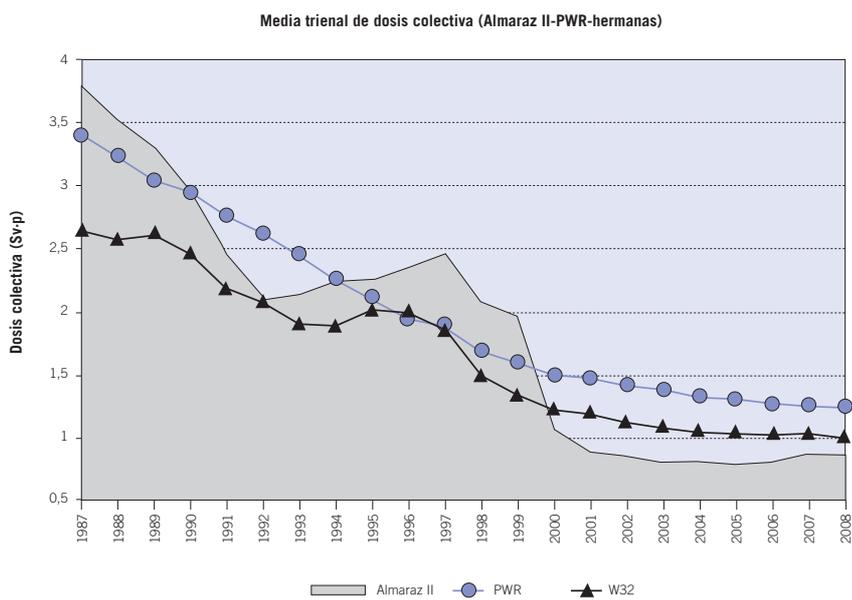
Gráfica 30. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Almaraz II frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo.



Gráfica 31. Evolución de la dosis colectiva media trienal de la central nuclear Almaraz I frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Gráfica 32. Evolución de la dosis colectiva media trienal de la central nuclear Almaraz II frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



En 2000, ambas centrales pararon para recarga. La dosis anual de Almaraz I fue de 918 mSv·p, correspondiendo 787 mSv·p de dosis operacional a los trabajos de recarga. La media trienal fue de 860 mSv·p. Tanto la dosis de recarga como la dosis anual constituían los valores mínimos en su historia para un año con recarga. Este resultado debe valorarse teniendo en cuenta la contaminación por antimonio de 1999. La dosis media trienal también supuso un mínimo histórico.

En cuanto a Almaraz II, en 2000, la dosis anual fue de 496 mSv·p, correspondiendo 365 mSv·p de dosis operacional a los trabajos de recarga. La media trienal fue de 569 mSv·p. Estos datos supusieron un récord de dosis colectiva de recarga, de dosis anual y de dosis media trienal para el conjunto de las dos unidades. Este resultado, además de la tendencia decreciente debida a los factores ya expuestos, se vio favorecido por la menor duración y menor número de horas por persona de la parada junto con una disminución de las tasas de dosis. Durante la parada se procedió a eliminar la fuente secundaria de antimonio con el fin de evitar el problema ocurrido en la unidad I.

En 2001, únicamente realizó parada de recarga Almaraz II. Los resultados de ese año fueron: dosis anual, 419 mSv·p; dosis en recarga, 309 mSv·p, y dosis media trienal, 374 mSv·p. Dichos valores volvieron a suponer mínimos históricos para el conjunto de

las dos unidades, pudiéndose atribuir dicho resultado a las mismas razones que el récord anterior. En cuanto a Almaraz I, que no realizó parada ese año, la dosis anual fue de 110 mSv·p y la dosis media trienal, 839,6 mSv·p. Ambos valores supusieron un récord en la historia de la unidad I.

En 2002, paró únicamente para recarga Almaraz I. Ese año la dosis anual de Almaraz I fue de 698 mSv·p, correspondiendo 594 mSv·p de dosis operacional a los trabajos de recarga. La media trienal fue de 580 mSv·p. De nuevo los tres valores supusieron records históricos. Almaraz II por su lado, sin parada para recarga, finalizó el año con una dosis anual de 104 mSv·p y una media trienal de 340 mSv·p, valores que volvían a suponer mínimos históricos para el conjunto de ambas unidades.

En 2003, se volvía a repetir el esquema de 2000, con ambas unidades realizando parada de recarga estándar. Almaraz I finalizó el año con una dosis de 454 mSv·p, correspondiendo 366 mSv·p de dosis operacional a los trabajos de recarga; mientras que Almaraz II lo hizo con una dosis anual de 363 mSv·p, correspondiendo 283 mSv·p de dosis operacional a los trabajos de recarga. La dosis media trienal de Almaraz I fue de 421 mSv·p y la de Almaraz II, 296 mSv·p. Todos los valores para ambas unidades volvieron a suponer mínimos históricos en relación con sus unidades y en el caso de Almaraz II ade-

más para el conjunto de ambas unidades. Las medidas radiológicas realizadas durante la parada de recarga en Almaraz I confirmaron la evolución decreciente ya observada de los niveles de radiación en la unidad I. No obstante, en esta unidad se mantenía un nivel de radiación del orden de un 30% mayor que el de la unidad II debido al antimonio liberado.

En 2004, únicamente realizó parada de recarga Almaraz II. Los resultados para esta unidad en 2004 fueron: dosis anual 423 mSv·p, dosis en recarga 381 mSv·p y dosis media trienal 296 mSv·p. Excepto para la dosis media trienal, los otros dos valores suponían una ruptura en la tendencia decreciente iniciada tras la sustitución de los generadores de vapor. Dicho incremento puede atribuirse a que durante ese año Almaraz II tuvo una parada de recarga especial por cumplir los 20 años de operación, y esto implicó un mayor número de inspecciones y otras tareas con el consiguiente incremento en la dosis colectiva cuando se compara con paradas estándar. Es de destacar que la media de la tasa de dosis (mSv·h) en las tres ramas del primario de Almaraz II se incrementó ligeramente respecto a años anteriores. En cuanto a Almaraz I, que no tuvo parada de recarga, la dosis anual fue de 42 mSv·p y la dosis media trienal 398 mSv·p suponiendo ambos valores de nuevo mínimos históricos para un año sin parada.

En 2005, únicamente realizó parada de recarga Almaraz II. Los resultados para esta unidad fueron: dosis anual 418 mSv·p, dosis en recarga 373 mSv·p y dosis media trienal 305 mSv·p. Estos valores suponían de nuevo mínimos históricos para la dosis anual y la dosis media trienal. La suave evolución decreciente de los niveles de radiación observada en las últimas paradas de la unidad I se acercaba a valores similares de niveles de radiación de la unidad II, indicando que los niveles de radiación en ambas unidades se encontraban ya en una fase de estabilidad. En cuanto a Almaraz II, la dosis anual fue de 44 mSv·p y la dosis media trienal de 277 mSv·p, suponiendo ambos valores de nuevo mínimos históricos para un año sin parada.

En 2006, se volvió a repetir el esquema de 2000 y 2003, con ambas unidades realizando parada de recarga estándar. Almaraz I finalizó el año con una dosis de 549 mSv·p correspondiendo 498 mSv·p de dosis operacional a los trabajos de recarga, mientras que Almaraz II lo hizo con una dosis anual de 440 mSv·p correspondiendo 389 mSv·p de dosis operacional a los trabajos de recarga. La dosis media trienal de Almaraz I fue de 336 mSv·p y la de Almaraz II de 303 mSv·p. Para ambas centrales, estos resultados suponían un incremento con respecto a los resultados de los años anteriores con parada. En el caso de Almaraz I, la parada de recarga tuvo una duración de 31 días siendo la más larga de las

últimas cinco paradas de recarga con un alcance ligeramente más amplio que en anteriores paradas. Entre las actividades particulares de la recarga se pueden destacar: el cambio del sistema de control del reactor, la sustitución del control de las turbobombas de agua de alimentación, la finalización de la implantación del quinto generador diesel, el cambio del control de la grúa polar de contención, la prueba de la grúa manipuladora tras el cambio del control, así como la instalación del sistema para la inspección del combustible en el mástil de la misma, los cambios del calorifugado de contención, relacionados con el potencial bloqueo de los sumideros y la realización de la prueba de estanqueidad del recinto de contención, prueba reglamentaria cada 10 años.

En 2007 se produjo recarga en la unidad II que supuso unas dosis operacionales de 524 mSv·p, siendo la dosis anual de 578 mSv·p y la media trienal de 350. Este valor anual rompe ligeramente la tendencia de estabilización encontrada en los últimos años con recarga en el entorno de los 450 mSv. La razón de esta subida se encuentra en los trabajos realizados: la sustitución del aislamiento (130 mSv·p) en sistemas del primario (RCS, SIS, RH) que supusieron valores del doble de los obtenidos en la anterior recarga (70 mSv·p) y entre cinco y seis veces mayores que los de 2001 y 2003 (23 mSv·p en ambos casos).

En cuanto a la unidad I, la dosis anual fue de 46 mSv·p, el segundo más bajo de la historia después del valor de 42 mSv·p de 2004. La media trienal se situó en 338 mSv·p.

En 2008 se produjo la recarga de la unidad I con una dosis de 434 mSv·p y una dosis anual de 477 mSv·p volviendo a los valores de 2003 y 2005, después del ligero repunte de 2006 (549 mSv·p). La media trienal se situó en 360 mSv·p. En esta recarga fueron de destacar, por una mayor carga radiológica a la inicialmente prevista, los trabajos de sustitución de aislamiento, en la zona sumergida (cota -7,85 del recinto de contención), la sustitución de 15 resistencias en el presionador, la sustitución y modificación del aislamiento de la tapa de la vasija y los trabajos de limpieza del recinto de contención con vistas a la minimización de la suciedad y polvo que pudiese ser arrastrado a los sumideros en caso de LOCA.

En este año, la unidad II no recargó y obtuvo unos valores de dosis anuales de 43 mSv·p (mínimo de dosis en la historia de la central) y una media trienal de 353 mSv·p.

Desde el punto de vista del contexto internacional, en el grupo de centrales comparables a las dos unidades de Almaraz definidas por el ISOE se incluyen únicamente dos centrales estadounidenses, Harris y Summer, el resto lo forman plantas con tecnología de origen Westinghouse pero explotadas en países

como Suecia, Bélgica, España y Corea, y con edades muy parecidas entre sí. De ese grupo, una mayoría ha realizado sustitución de sus generadores de vapor. Otro hecho reseñable es que en el grupo W32, correspondiente a las centrales de diseño Westinghouse de tres lazos y 2ª generación, un tercio de las centrales se encuentran emplazadas en España.

Como puede apreciarse en las gráficas anteriores, hasta los años 2000, las dosis de Almaraz I y de Almaraz II se encontraron de forma general por encima de la media de sus centrales comparables y salvo durante una ventana de cuatro a cinco años a principios de los 90 por encima de la media de todos los reactores PWR. A partir de 2000 para Almaraz II y de 2002 para Almaraz I esta situación se invierte situándose ambas centrales con dosis inferiores no sólo a la de todos los reactores PWR sino también a la media de sus grupos de centrales comparables. La tasa de decrecimiento ha sido mayor para la unidad II debido al retraso acontecido en la unidad I como consecuencia del transitorio de contaminación residual por antimonio en la recarga de 1999. De este modo, las dosis medias trienales para Almaraz II han sido en promedio durante el período 2000-2008 del orden de la mitad que el promedio de las del grupo W32. Los valores de dosis colectivas de Almaraz I representan alrededor del 85% de los valores promedio del grupo W32 (debido a la contaminación residual del antimonio). Obsérvese asimismo que desde el

comienzo de la operación de los reactores del grupo W32, la dosis media trienal ha estado por debajo de la media de todos los reactores PWR.

Estas medias trienales presentan un ligero repunte debido a las últimas recargas en ambas unidades.

IV.2.2.2. Central nuclear de Ascó (I y II)

Desde un punto de vista histórico, las dosis de ambas centrales están marcadas por los siguientes hitos:

- En 1986 la dosis por trabajos en los generadores de vapor supuso más del 50% de la dosis total de recarga debido al microgranallado de tubos en la unidad I, que se repitió en el 87 en la unidad II, además de las tapas de toberas y el taponado manual de tubos.
- El taponado manual de tubos de generadores fue una de las causas del aumento de la dosis colectiva registrado en 1990 en ambas unidades.
- El año 1990 supuso un punto de inflexión de la tendencia de dosis. A partir de ese año se experimentó un acusado descenso, encontrándose valores cercanos a 2 Sv·p en el período 91-94.
- Durante 1995 y 1996 se llevaron a cabo los trabajos del cambio de generadores de

vapor, eliminación del *by-pass* de los RTD's y otras modificaciones de diseño, en las unidades I y II, respectivamente. Dichos trabajos marcaron la evolución decreciente de la dosis colectiva en ambas centrales, como lo hicieron en el caso de Almaraz I y Almaraz II. Es importante destacar en este contexto la importante reducción en la dosis colectiva que se produjo en Ascó I comparado con Ascó II, para el conjunto de los proyectos mencionados, pues se pasó de 4 Sv·p, en la unidad I a 3 Sv·p en la II. Esta reducción fue fruto de una gran realimentación de las lecciones aprendidas y de la autocrítica en la ejecución de los trabajos.

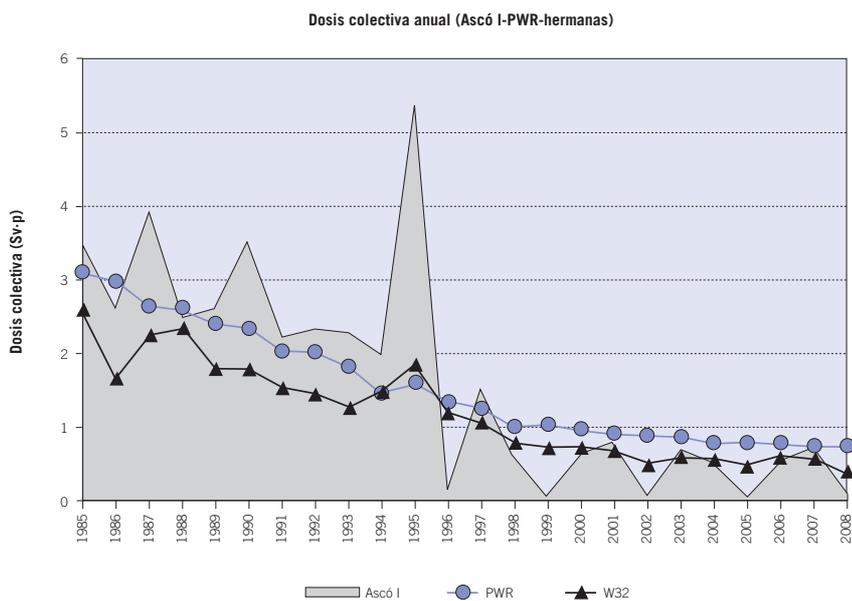
- Durante el trienio posterior a las modificaciones de diseño mencionadas (1997, 1998 y 1999) la dosis colectiva descendió por debajo del Sv·p, en consonancia con las previsiones de operación tras el cambio de generadores de vapor. Esta disminución fue significativa si consideramos que los valores de recarga se situaban por debajo de la media internacional del ISOE para recargas en años posteriores a la sustitución de los generadores.
- Desde el PSGV, la importancia en dosis acumulada para las distintas tareas de recarga pasó de los trabajos de mantenimiento e inspección de los generadores de vapor a trabajos menos específicos como la reposición del combustible o trabajos generales por ejemplo.

Para ambas centrales, como puede apreciarse en las gráficas siguientes (33 a 36), la tendencia general de la dosis colectiva es de disminución, con los lógicos paréntesis de los trabajos de sustitución de los generadores de vapor. En 1998 la media de los dos reactores de la central nuclear de Ascó, por primera vez en su historia se situó por debajo de la media trienal de dosis colectiva de los reactores PWR y de los reactores comparables del ISOE. Este hecho es relevante si se considera que por primera vez la dosis colectiva media de los dos grupos se situaba por debajo del Sv·p.

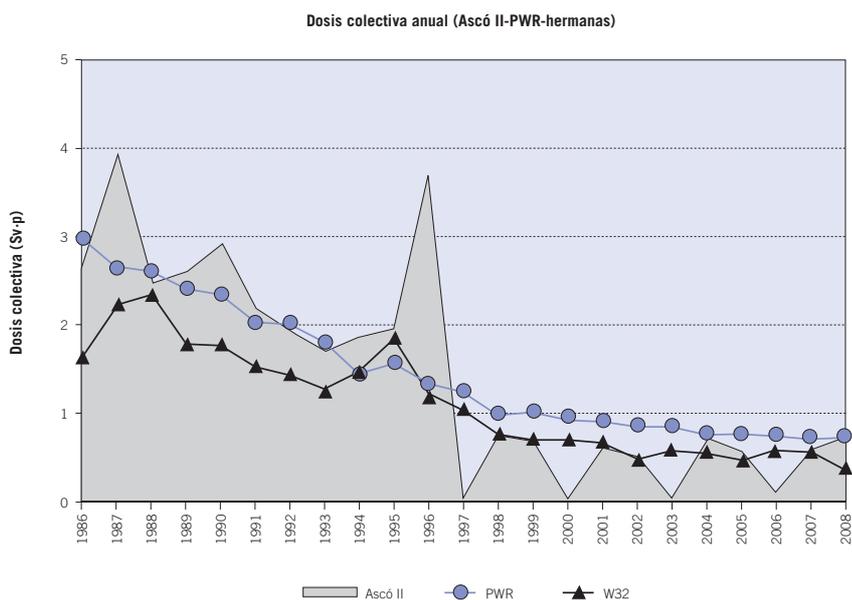
El período 2000-2008 ha estado marcado para Ascó I por una evolución estable de la dosis media trienal. Para esta unidad, la dosis colectiva anual de los dos años sin parada de recarga se ha visto incrementada desde 28 mSv·p en 2002 a 72 mSv·p en 2008.

En el caso de Ascó II, el período 2000-2008 ha estado marcado por una tendencia general estable de la dosis colectiva anual con un repunte anual en 2004 y 2008 coincidiendo con un mayor alcance de los trabajos de la recarga por modificaciones de diseño como la sustitución de la tapa de la vasija en 2004. En 2005, si bien la dosis colectiva disminuyó respecto al año con recarga anterior, no se mejoraron los resultados con los que comenzó el período 2000-2008. La media trienal de esta unidad en el período se caracteriza por una tendencia estable.

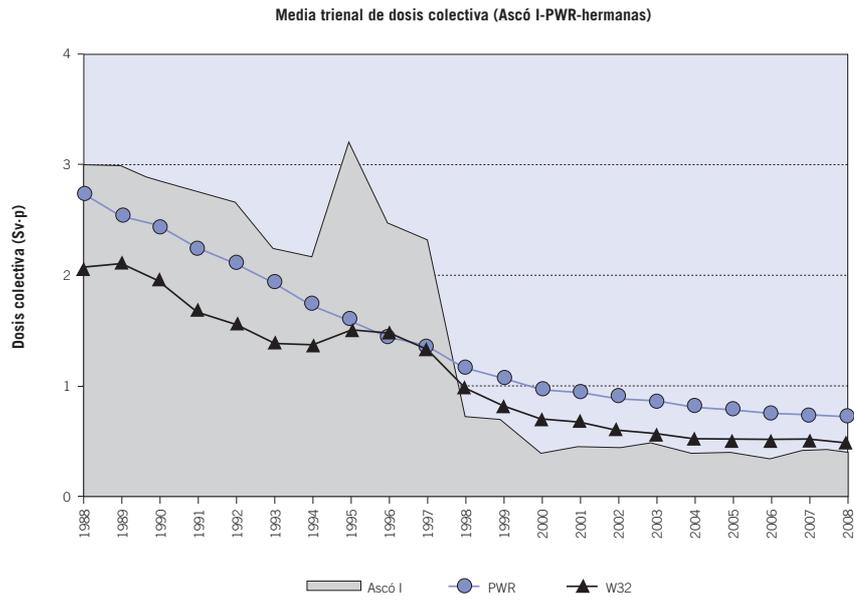
Gráfica 33. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Ascó I frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



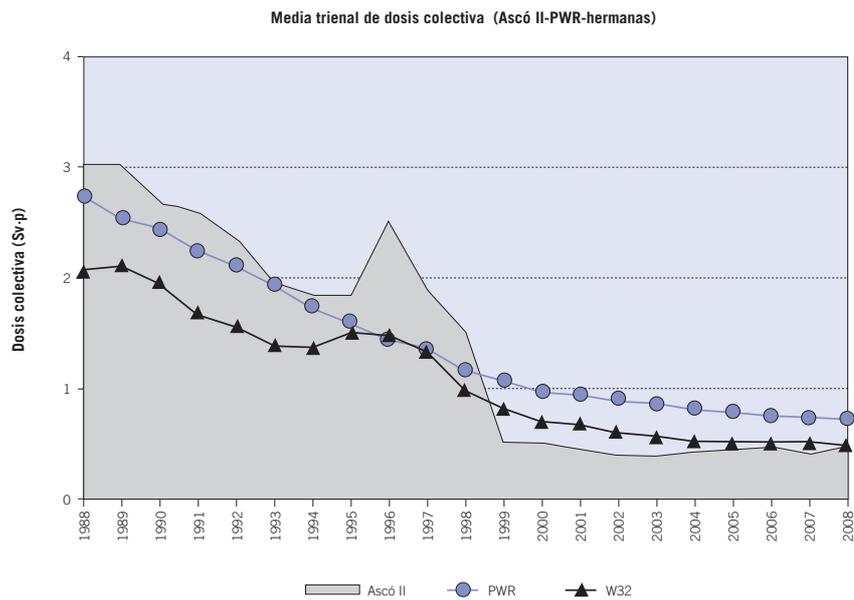
Gráfica 34. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Ascó II frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Gráfica 35. Evolución de la dosis media trienal de la central nuclear Ascó I frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Gráfica 36. Evolución de la dosis media trienal de la central nuclear Ascó II frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Desde mediados de los años 90 (1995 en Ascó I y 1996 en Ascó II), ambas centrales tienen ciclos de operación de 18 meses lo que se traduce en dos años seguidos con parada de recarga y uno sin parada. Obviamente por la fecha de comienzo del ciclo, existe un año de diferencia en la repetición de este esquema entre ambas centrales lo que hace que cada tres años coincidan las dos unidades en parada. Así, durante el período 2000-2008 las dos unidades han parado seis de los nueve años, siendo los años sin recarga para Ascó I, 2002, 2005 y 2008, y para Ascó II, 2000, 2003 y 2006.

En ocasiones en la central nuclear de Ascó la dosis operacional de recarga (obtenida de los datos del Informe Final de Recarga que elabora la central) es superior a la dosis oficial anual (obtenida de los datos del ISOE). Esta situación es perfectamente posible en aquellas centrales como la central nuclear de Ascó o la central nuclear de Trillo, donde la dosis en operación normal no es muy significativa, del orden de unas pocas decenas de mSv.

En 2000, únicamente realizó parada de recarga Ascó I. Los resultados de ese año de dosis en recarga, 605 mSv·p, y dosis media trienal, 407 mSv·p, supusieron mínimos históricos para el conjunto de las dos unidades. La dosis colectiva anual fue de 595 mSv·p. En cuanto a Ascó II, que no realizó parada ese año, la dosis anual fue de 17 mSv·p y la dosis media trienal, 495 mSv·p. Ambos valores

supusieron un récord de mínimo histórico de la unidad I. En Ascó I, ese año las tasas de dosis en las tuberías del primario se redujeron de forma considerable respecto a anteriores recargas. Una de las razones fundamentales de dicha disminución fue la desaparición de dos de las fuentes que más influían en dichas medidas, los generadores de vapor viejos y las tuberías de *by-pass* del sistema RTD. A partir de ahí se produjo una suave disminución debido a que la desaparición de productos de corrosión, por decaimiento radiactivo y por retención en las resinas, era mayor que el aporte de nuevos productos de activación al circuito.

En 2001 ambas unidades pararon para recarga. La dosis anual de Ascó I fue de 750 mSv·p, correspondiendo 688 mSv·p de dosimetría operacional a los trabajos de recarga. La media trienal fue de 459 mSv·p. Los valores de las tres magnitudes suponían un incremento respecto a los resultados del año 2000. En la recarga de 2001, se realizaron los trabajos de mejora de acceso de contención al lazo B, trabajos que contribuyeron a la dosis total en 60 mSv·p respecto a los estimados inicialmente. En cuanto a Ascó II, la dosis anual fue de 608 mSv·p, correspondiendo 555 mSv·p de dosimetría operacional a los trabajos de recarga, mientras que la media trienal fue de 441 mSv·p. La recarga de ese año suponía el mejor resultado desde que se inició la operación, con una significativa reducción respecto a anteriores recargas.

Esta disminución repercutió también en el cómputo de la dosis anual siendo el mejor resultado desde el inicio de la operación al igual que la dosis media trienal. Las tasas de dosis en las tuberías del primario de Ascó II sufrieron un ligero aumento en promedio respecto a las recargas anteriores, si bien disminuyeron en la decimotercera recarga (2001) respecto a la anterior (1999).

Para las dos unidades, al igual que en el caso de las dos unidades de Almaraz, se mantiene la situación ocurrida tras el cambio de los generadores de vapor donde los trabajos en el lado primario de los generadores ya no era la tarea de mayor contribución a la dosis total de recarga, debido a la menor necesidad de mantenimiento e inspección y desplazándose las mayores cargas radiológicas hacia trabajos menos específicos (trabajos generales, reposición de combustible, válvulas...).

En 2002, paró únicamente para recarga Ascó II. Ese año la dosis anual de Ascó II fue de 512 mSv·p, correspondiendo 464 mSv·p a los trabajos de recarga. La media trienal fue de 379 mSv·p. Los resultados de dosis correspondientes a los trabajos de reposición de combustible que se desarrollaron con normalidad, fueron los más bajos en dosis colectiva en la historia de la central. Dicha disminución se atribuyó a la implantación de innovaciones técnicas de reducción de dosis que atañían a la actividad de apertura y cierre de la vasija, como son: utilización de una nueva

herramienta de desmontaje y montaje de los pin-guía; nuevos polipastos de la cabeza, utilización de una nueva herramienta de extracción de pernos y nuevas jaulas de manejo-transporte de pernos. La recarga de Ascó II de 2002 supuso, con 23 días de duración, la recarga más corta en la historia de Ascó I y II. Ese año se sustituyó el sistema de dosimetría operacional en Ascó II.

Ascó I por su lado, sin parada para recarga, finalizó el año con una dosis anual de 28 mSv·p (mínimo histórico) y una media trienal de 458 mSv·p.

En 2003, paró únicamente para recarga Ascó I. Ese año la dosis anual de Ascó I fue de 669 mSv·p, 543 mSv·p para tareas de recarga. La media trienal fue de 482 mSv·p. En cuanto a la media trienal su valor era el más alto desde 1999 y resultó asimismo el valor más elevado del período 2000-2008. El incremento en la dosis anual y su repercusión en la media trienal se vio influenciado por las modificaciones de diseño llevadas a cabo durante la recarga, donde de los 543 mSv·p de la parada, 102 mSv·p se debieron a modificaciones de diseño (principalmente la construcción de nuevas plataformas de acceso al lazo B) y 140 mSv·p a la sustitución de la cabeza de la vasija. Ese año se sustituyó el sistema de dosimetría operacional de la unidad I. En cuanto a Ascó II, la dosis anual fue de 30 mSv·p y la media trienal de 383 mSv·p.

En 2004 se volvió a repetir el esquema del 2001: las dos centrales realizaron parada de recarga. La dosis anual de Ascó I fue de 494 mSv·p y la de Ascó II de 716 mSv·p. La dosis en recarga de Ascó I fue de 448 mSv·p y la de Ascó II de 614 mSv·p. En cuanto a la dosis media trienal, los valores fueron 397 mSv·p para Ascó I y 419 mSv·p para Ascó II. Los resultados de Ascó I para las tres magnitudes representaban valores inferiores a los del año anterior en que también hubo recarga. Además, los resultados de la dosis en recarga y de la dosis anual eran los mejores resultados en la historia de esa unidad. Esta disminución es atribuible principalmente a un menor alcance de las modificaciones de diseño respecto a las de 2003. No obstante, los buenos resultados, son de destacar dos hitos desde el punto de vista radiológico para esa unidad. El primero se refiere a un incidente durante la decimoséptima recarga de la unidad I donde se produjo un aumento de concentración de I-131 en contención que implicó la contaminación interna de varios trabajadores, todos ellos por debajo del nivel de registro (1 mSv). El Servicio de Protección Radiológica elaboró un informe interno con una serie de lecciones aprendidas y acciones correctivas para evitar que se repita el incidente en el futuro. El segundo hito se refiere a los trabajos en la vasija y componentes del reactor donde se produjo un incremento en las dosis respecto a lo estimado debido a que en los trabajos de montaje del interno inferior, se recibió más dosis de la prevista por

problemas ocurridos durante la maniobra de introducción del interno inferior en la vasija.

En cuanto a Ascó II, la dosis anual suponía el valor más elevado desde 1998 y representó también el segundo valor más alto del período 2000-2008. En cuanto a la media trienal su valor era el más alto desde 2001. Al incremento de este valor contribuyeron considerablemente los trabajos generales (descontaminación, vigilancia radiológica...) pero sobre todo los trabajos de sustitución de la tapa de la vasija que se saldaron con 126 mSv·p y la modificación de diseño realizada para mejorar el acceso al lazo A para la realización de trabajos rutinarios y evitar montar y desmontar andamios a GV y BRRs.

En 2005, únicamente realizó parada de recarga Ascó II. La dosis anual de esa unidad fue de 565 mSv·p y la media trienal de 437 mSv·p. Los trabajos de recarga finalizaron con una dosis asociada de 492 mSv·p. En cuanto a Ascó I, la dosis anual fue de 44 mSv·p y la media trienal de 402 mSv·p. El resultado de la decimosexta recarga de Ascó II suponía el segundo valor más bajo en una parada de recarga desde la sustitución de los generadores de vapor en 1996 a pesar de ser, junto con la duodécima recarga (de igual duración) las de mayor duración tras la sustitución de los generadores de vapor. El aspecto más significativo desde el punto de vista de la protección radiológica estuvo asociado, no a la dosis colectiva sino a la dosis individual

debida a una exposición no planificada de 24,52 mSv, frente a un valor máximo de 8 mSv establecido en el permiso de trabajo con radiaciones (PTR) de un trabajador de mantenimiento mecánico durante la extracción del interno inferior de la vasija (barrilete). Dicha dosis supuso la superación de los siguientes niveles de referencia para la dosis individual: dosis individual autorizada por PTR, nivel de investigación para la dosis recibida en la central, nivel de intervención para todas las dosis recibidas por el trabajador y objetivo de dosis individual anual en recarga establecido por la central nuclear de Ascó. En ningún caso se superaron los límites de dosis establecidos por el Real Decreto 783/2001.

Estos resultados de la recarga dieron unas dosis intermedias en el período considerado. Este resultado se trasladó a la media trienal que también presentó valores intermedios de dosis. En cuanto a los resultados de Ascó I comentar asimismo el incremento significativo respecto al año 2002, año anterior sin recarga que suponía la dosis más elevada de las dos unidades para un año sin recarga.

En 2006 únicamente realizó parada para recarga Ascó I. Para esta unidad, la dosis anual fue de 512 mSv·p, correspondiendo 477 msv.p a la dosis de recarga. La media trienal resultaba ser de 351 mSv·p. El resultado de dosis anual era el segundo más bajo desde la sustitución de los generadores y del período 2000-2008. La media trienal supo-

nía el valor más bajo en la historia de la central. En cuando a la unidad II de la central nuclear de Ascó, la dosis anual fue de 84 mSv·p resultando en una dosis media trienal de 454 mSv·p. La dosis anual suponía el valor más alto para un año sin recarga en toda la historia de la central.

En el año 2007, recargaron las dos unidades. Ascó I obtuvo una dosis colectiva operacional para la recarga de 704 mSv·p lo parece marcar una tendencia al alza desde 2004 y supone el mayor valor desde 1997. La dosis anual oficial fue de 685 mSv·p, por debajo de la dosis operacional de recarga. La dosis media trienal fue de 417 mSv·p.

Ascó II obtuvo en la recarga 603 mSv·p lo que supone un valor intermedio entre los encontrados desde 1998. La dosis anual fue de 584 mSv·p y la media trienal de 410 mSv·p.

El año 2008 se encuentra marcado por el suceso de liberación al exterior de partículas radiactivas por la chimenea de ventilación de la unidad I. Aunque el desencadenante del suceso de liberación de partículas AS1-127 tiene su origen en el año 2007, la notificación se produjo el 4 de abril de 2008. El origen de las partículas encontradas se asocia a la contaminación del conducto de ventilación del edificio de combustible ocurrida en noviembre de 2007 y su posterior emisión al exterior a través del sistema de ventilación

normal que descarga directamente a la chimenea sin filtrado. La conexión de conductos de ambas ventilaciones dispone de tramos comunes tanto aguas arriba, como aguas abajo del sistema de filtración.

El origen de la contaminación se encuentra en que el día 26 de noviembre de 2007 durante la decimonovena recarga de la unidad I de la central nuclear de Ascó, después de haber finalizado las actividades de carga de combustible en la vasija, se procedió al vaciado y la limpieza del canal de transferencia existente en el edificio de combustible. Esta operación, que venía realizándose de forma similar desde la puesta en marcha de la planta, consiste en la limpieza de lodos radiactivos y el *crud* desprendido de los elementos combustibles resultantes del chorro de las paredes y estructuras del canal.

Tras el drenado completo del canal, el SPR realizó un seguimiento de los niveles radiológicos en el pocete y en el canal de transferencia. Se disponía de un sistema de recirculación de lodos radiactivos que se ubicaba en el suelo del canal con el pocete lleno de agua (20 cm por debajo del suelo del canal), asociado a un conjunto filtrante en el interior de un bidón biológico (incorpora blindaje de hormigón). Este sistema de recirculación disponía asimismo de un barrefondos automático que en base al agua de succión de la bomba, aspiraba los lodos de los pocetes durante la recirculación.

Finalmente se procedió a un aspirado completo del agua remanente. Con el canal y el pocete completamente secos se retiraron manualmente los posibles puntos calientes evacuándolos al blindaje biológico del sistema de aspiración. Los residuos líquidos se evacúan a través de filtros o conjuntos filtrantes de un micraje inferior a 0,5 micras hacia la piscina de combustible gastado previa autorización de la sala de control.

Una vez finalizada la maniobra de filtrado, se procedió al trasvase mediante bomba y manguera al foso de la piscina de combustible del agua hasta lo permitido por el sistema de bombeo (en torno 1 o 2 cm de altura de agua en el pocete) equivalente a unos 50 litros. El procedimiento de operación requiere que al llegar a este nivel se detenga el bombeo, y se recoja el contenido final con un aspirador. Se retira el cabezal del aspirador y el depósito se iza mediante cuerdas desde el canal de transferencia hasta el pasillo del borde de la piscina junto al canal de transferencia (cota 50). Desde esta zona próxima a las rejillas de aspiración del sistema de ventilación que existen entre el borde de la piscina y el nivel del agua, se vertió manualmente el contenido de la aspiradora al foso de la piscina de combustible.

Durante la decimonovena recarga de la unidad I, al izar el recipiente de la aspiradora se produjo el disparo de la alarma del monitor TR-2606, que no se desactivó al finalizar la

operación, como había ocurrido en recargas anteriores.

El titular procedió de forma inmediata a efectuar un control radiológico de la zona, verificándose la presencia de contaminación en las rejillas de aspiración de la ventilación (nivel de piscina), y detectándose niveles elevados de radiación en el conducto de ventilación.

Esta presencia de contaminación se asoció a la aspiración por el sistema de la ventilación de parte del vertido lo que originó finalmente el suceso.

En lo relativo a las dosis colectivas, se obtuvieron unos resultados anuales de 72 mSv·p para la unidad I (valor que duplica los resultados de los últimos años sin recarga) y 723 mSv·p para la unidad II que realizó parada para recarga (valor más alto del período evaluado). Los valores de la unidad II son principalmente atribuibles a las tareas de Weld Over Lay (WOL).

En el contexto internacional, se recuerda que en el grupo de centrales comparables a las dos unidades de Ascó definidas por el ISOE se incluyen únicamente dos centrales estadounidenses, Harris y Summer, el resto lo forman plantas con tecnología de origen Westinghouse pero explotadas en países como Suecia, Bélgica, España y Corea, y con edades muy parecidas entre sí. De ese grupo, una mayoría

ha realizado sustitución de sus generadores de vapor. Otro hecho reseñable es que en el grupo W32, correspondiente a las centrales de diseño Westinghouse de tres lazos y 2ª generación, la tercera parte de las centrales se encuentran emplazadas en España.

Los resultados de ambas unidades durante el período 2000-2008 han supuesto una continuidad en la posición relativa ya iniciada tras la sustitución de los generadores de vapor respecto a su grupo de centrales hermanas y el conjunto de las centrales PWR del ISOE. Tanto la unidad I como la unidad II, durante el período 2000-2008 se han situado por debajo de la media trienal de la dosis colectiva del grupo W32 y del conjunto de reactores PWR. No obstante se está produciendo una convergencia de las dosis media trienal de las dos unidades con el grupo de centrales W32.

No ocurre lo mismo cuando se observa la dosis colectiva anual. Para ambas unidades, la dosis colectiva anual para el período 2000-2008 se encuentra ligeramente por encima del grupo W32 los años con recarga y es inferior en los años sin recarga. Cuando se comparan ambas unidades con el conjunto de los reactores PWR, las dosis anuales de las dos unidades en conjunto son siempre inferiores a las del grupo PWR. La posición ventajosa respecto al promedio de reactores PWR en el mundo se ha mantenido estable desde 1996, mientras que se observa que la media de su grupo de centrales hermanas ha visto una evo-

lución general decreciente que la central nuclear de Ascó no ha seguido en la misma proporción. Este resultado a nivel de centrales hermanas, no ha afectado la posición ventajosa de las dosis colectivas medias en reactores PWR en España respecto a la de otros países occidentales (Francia, Estados Unidos y Alemania), donde desde hace una década, tras la última sustitución de generadores de vapor en nuestro país, España se sitúa con los valores más bajos de dosis colectiva media anual.

IV.2.3. Tercera generación de reactores PWR

IV.2.3.1. Central nuclear Vandellós II

La central nuclear Vandellós II comenzó su operación en 1987. Desde entonces ha cambiado en dos ocasiones la duración del ciclo, la primera en 1996 (se pasó a 15 meses) y cambió al año siguiente a una duración de 18 meses. Al igual que en el caso de Almaraz, Ascó y Cofrentes, para el período de estudio, 2000-2008, esto se traduciría en dos años seguidos con parada de recarga y uno sin parada. Sin embargo, en el caso de Vandellós II, durante el período 2000-2008, ha parado únicamente en cinco ocasiones en lugar de las seis que le correspondería de acuerdo al esquema del ciclo con duraciones habituales de recarga. Los años de recarga para Vandellós II fueron: 2000, 2002, 2003, 2005 y 2007. El hecho de que en 2006 no hubiese parada, cuando por duración del ciclo le correspondería se debe a que en 2005, la

parada de recarga tuvo una duración superior estando parada desde el 16 de marzo al 3 de septiembre (169 días) por las razones que se expondrán más adelante ligadas al incidente sucedido en 2004 en el sistema de agua de servicios esenciales. La parada de 2007 tuvo una duración también extraordinaria de 127 días.

Desde un punto de vista histórico, las dosis colectivas de la central nuclear Vandellós II han estado marcadas por los siguientes hitos:

- Desde el inicio de la operación de la central la evolución de las dosis siguió una tendencia creciente hasta el año 1992 momento en que se inicia una tendencia a la baja, si se exceptúa el año 1994, en el que se alcanzó un máximo histórico de casi 2 Sv·p. Este máximo fue originado por los trabajos de eliminación del *by-pass* de las líneas de RTD's (con un coste de 750 mSv·persona), coincidiendo con la parada de recarga. Este proyecto se abor-daba en España por vez primera.
- La dosis colectiva anual de los años 1995, 1996 y 1997 se sitúan en el entorno de 1 Sv·p, no superando la dosis ese valor en ninguno de los años correspondientes a las paradas de recarga. Durante esos tres años la dosis colectiva de la recarga siguió una evolución decreciente hasta la parada de 1999. De hecho, la dosis colectiva de la recarga de 1997 (810 mSv·p) supuso el

mejor resultado desde la primera parada en 1989. Esta reducción de la dosis colectiva de 1997 se produjo a pesar de mantenerse los niveles de radiación de las tuberías del primario con valores similares a los últimos años y de sufrir un aumento del 30% en el centro de las cajas de agua de los generadores de vapor desde 1990.

- 1998 fue el primer año, desde el principio de la operación de la central, en el que no hubo recarga ya que la central comenzó a alargar progresivamente su ciclo hasta llegar a la duración típica de los denominados ciclos largos (18-24 meses).
- En 1999 se rompió la tendencia decreciente de la dosis anual y de recarga superando en ambos casos la dosis colectiva el valor de 1 Sv·p. El motivo principal fue la recarga atípica de ese año en la que coincidieron un plan de inspecciones preceptivas por cumplirse la décima parada de recarga, y además se realizaron una serie de modificaciones de diseño para poder aumentar la potencia licenciada en un 4,5% en el ciclo siguiente.

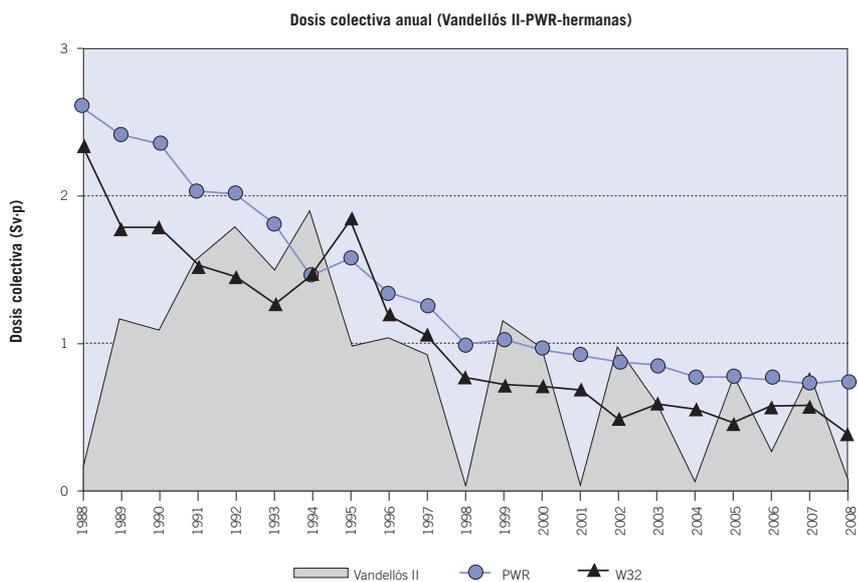
Desde un punto de vista histórico es de destacar, en el caso de la central nuclear Vandellós II por su influencia en la dosis colectiva, la evolución de las tasas de radiación en planta. Es destacable el hecho de que la central nuclear Vandellós II tuvo desde el comienzo de su operación unas tasas de

radiación superiores a las esperadas en un reactor de su características, debido al aporte de material metálico en unas operaciones de mantenimiento preventivo realizado antes de la entrada en funcionamiento de la central (el lapeado inicial de las válvulas causó una presencia en el primario de virutas, que se tradujo en unos niveles iniciales de radiación anormalmente altos en las cajas de agua de los generadores de vapor).

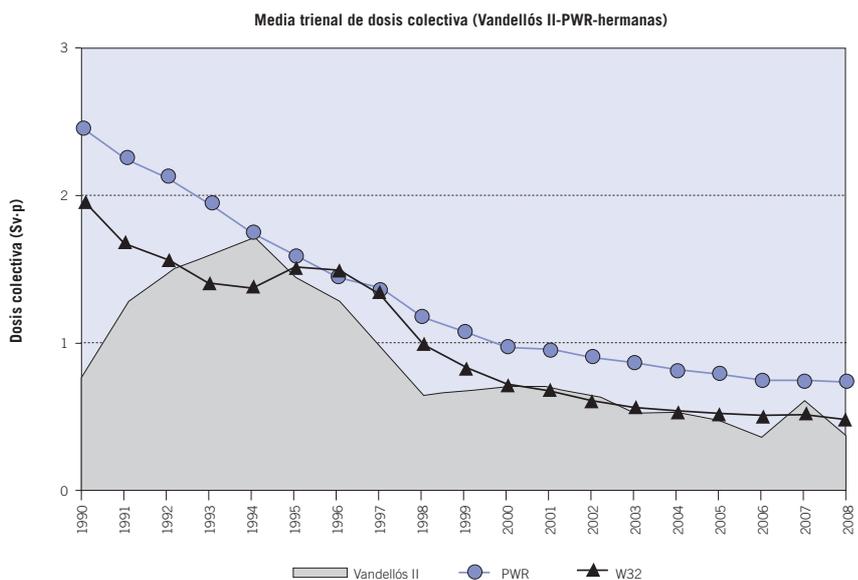
El período 2000-2008 se ha caracterizado por una tendencia ligeramente decreciente en los años de recarga con valores superiores a los del grupo de centrales gemelas y similares al del conjunto de centrales PWR pasando de 958 mSv·p en 2000 a 783 en la última recarga de 2007. En cuanto a la tendencia de la dosis media trienal es de forma general moderadamente decreciente, aunque se observa el repunte alcista de 2007 y la caída en 2008 por incluir sólo una recarga en el trienio.

En 2000 se realizó una parada de recarga. La dosis colectiva anual fue de 958 mSv·p de los cuales 816 correspondieron a los trabajos de recarga. La media trienal de la dosis colectiva fue de 704 mSv·p. Los resultados del año 2000 registraron un ligero incremento respecto a los del año 1997, año en el que la duración y alcance de los trabajos de recarga fue similar. En la valoración de este incremento, en el caso de la dosis de recarga (dosis operacional) debe tenerse en cuenta que ese

Gráfica 37. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Vandellós II frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Gráfica 38. Evolución de la dosis media trienal de la central nuclear Vandellós II frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



año hubo un cambio en el sistema de dosimetría operacional por Dosímetros de Lectura Directa (DLD), ambos marca MGP, variando el nivel de registro de una recarga a la otra, pasando de 10 μ Sv/entrada en 1997 a

1 μ Sv/entrada en 2000. En esta recarga se confirmó e incluso se agravó la tendencia sostenida al alza de los niveles de radiación en planta existente durante el período 1990-2000. El incremento de los niveles de

radiación en planta¹ en esta parada fue un 16% respecto a la recarga anterior. Entre las posibles causas de este incremento todo apuntaba principalmente a dos: el alargamiento del ciclo y el aumento de potencia. Como consecuencia de dicho incremento, la central nuclear Vandellós II aprobó siete grandes medidas de reducción de dosis:

- Cambios operacionales en la química del refrigerante.
- Ultrafiltración.
- Inspección en servicio basada en el riesgo.
- Optimización de la química de parada.
- Modificaciones de diseño.
- Herramientas de mantenimiento.
- Reducción del cobalto.

El año 2001 fue el segundo año desde el comienzo de cambio de ciclo en el que no se paró para recarga. La dosis colectiva anual fue de 28 mSv·p, del mismo orden pero ligeramente superior a la del año 1998, primer año sin parada desde el inicio de la operación de la central. Dicho incremento se vio posiblemente influenciado por el incremento de las tasas de dosis en planta medidas en la recarga de 2000. La dosis media trienal fue de 704 mSv·p, prácticamente igual que la del año 2000.

1. Medidos a través del fondo Radiológico ambiental, promedio de la tasa de dosis en 32 puntos del anillo de lazos, tuberías del primario, cubículos de los generadores de vapor y presionador.

En 2002, la central paró para recarga. La dosis colectiva anual fue de 964 mSv·p de los cuales 515 mSv·p correspondieron a los trabajos de recarga. La dosis media trienal fue de 650 mSv·p, siendo el valor más bajo en la historia de la central a lo que contribuyó el hecho de incluir en la media un año sin parada. Las tasas de dosis en planta continuaron incrementándose sensiblemente respecto a la recarga anterior, ante lo cual, desde esta subdirección (Subdirección de Protección Radiológica Operacional) se consideró necesario requerir formalmente a la dirección de la central que a través del Comité Alara que se elaborase un plan de actuación para la reducción del término fuente y que se remitiese al CSN, como paso previo a la implantación de dicho plan, una propuesta al respecto en la que se detallasen los plazos y fechas de implantación.

En 2003 la central volvió a parar para recargar. La dosis colectiva anual fue de 584 mSv·p, de los cuales 515 mSv·p correspondieron a los trabajos de recarga. Ambos valores supusieron mínimos históricos en la trayectoria de la central. La dosis colectiva media trienal fue de 525 mSv·p suponiendo de nuevo un mínimo histórico. Puede decirse que en la recarga de 2003, se aprecian los resultados de la aplicación de las técnicas de reducción del término fuente llevadas a cabo durante el ciclo, además de la optimización de la duración de la recarga, que se realizó en 25 días manteniendo los mismos alcances. Entre las acciones implantadas en relación con el

término fuente, destacan las medidas introducidas en la química del primario, mejoras en el sistema de filtrado y el uso de nuevos elementos combustibles, en concreto:

- Actuaciones en la química del primario, ciclo decimotercero: concentración de boro y gadolinio y estrategia del pH.
- Revisión de diseños del núcleo para reducir factores de ebullición.
- Actuaciones en la química del primario, ciclo decimocuarto: similar a la anterior reduciendo la concentración de boro inicial y aumentando barras con gadolinio.
- Actuaciones en la química del primario, ciclos posteriores: basadas en un aumento del pH.
- Actuaciones en el elemento combustible: además de las rejillas protectoras se han incorporado nuevos cambios.
- Análisis de viabilidad de dosificación al circuito primario.

2004 fue el tercer año sin parada de recarga desde el comienzo del nuevo ciclo de 18 meses. La dosis colectiva anual fue de 52 mSv·p, lo que supuso casi el doble de la dosis de 2001, anterior año sin parada. La dosis colectiva media trienal fue de 535 mSv·p, ligeramente por encima de la de 2003. La

razón del incremento respecto a la dosis de 2001 fue la implantación de modificaciones de diseño, entre las que destacan los trabajos preliminares para la implantación de la mejora y llenado del sistema BC (evacuación de calor residual), trenes A y la implantación de la modificación de diseño relativa a las protecciones pasivas contraincendios, que tuvo un coste radiológico de 23,1 mSv·p.

Debe mencionarse también en relación con este año 2004 que el día 25 de agosto, con la central al 100% de potencia nuclear, durante el proceso de arranque de la bomba de impulsión del tren B del sistema de agua de servicios esenciales, se produjo la rotura de una boca de hombre de acceso a la línea del tren B de dicho sistema (tubería Bonna). Tras declarar inoperable dicho tren, el titular decidió llevar la central a modo 3 y realizar la reparación de la boca de hombre que rompió. Esta reparación fue temporal y válida hasta la siguiente parada de recarga, prevista para marzo de 2005, en que sería retirada y, en su lugar, se realizaría una reparación definitiva de la citada boca de hombre. La rotura estuvo motivada por la existencia de corrosión externa generalizada a todo el cuello de la boca de hombre. El día 29 de agosto la central volvió a arrancar.

El año 2005 fue un año con parada de recarga. La dosis colectiva anual fue de 782 mSv·p de los cuales 729 mSv·p correspondieron a trabajos de recarga. La dosis media trienal fue de 473 suponiendo un importante descenso

respecto al año anterior. Durante el período de operación normal se completaron los trabajos asociados a la mejora y llenado de los trenes A y B con un coste radiológico de 18 mSv·p. Por su parte, la recarga presentó unas condiciones extraordinarias en cuanto a su duración (169 días frente a una estimación de 38 días) y alcance en determinadas actividades debido a las acciones requeridas por el CSN tras la rotura de la tubería del sistema de esenciales acontecida el 25 de agosto de 2004. Aprovechando la parada programada para recarga de combustible prevista para el año 2005, la central nuclear Vandellós II inició, el día 15 de marzo de dicho año, una parada prolongada para inspeccionar, revisar y reparar en caso necesario, los sistemas de la central y en particular el de agua de servicios esenciales, que duró hasta el 3 de septiembre de ese mismo año.

Algunos de los trabajos que más contribuyeron a la desviación de la duración de la decimocuarta recarga fueron:

- Realización de trabajos en el exterior de la zona radiológica.
- Incremento de los alcances en trabajos de aislamiento por la eliminación de aislamiento no reflectivo con *foam-glass* y la inspección del aislamiento deteriorado, con el fin de dar cumplimiento a la Generic Letter 2004-02.

- Incrementos de alcance en el mantenimiento de las bombas del refrigerante del reactor por problemas eléctricos encontrados después de finalizar el mantenimiento previsto.
- Realización de actividades relacionadas con la inspección de estructuras y componentes en la zona controlada, especialmente en el edificio de contención y las servidumbres de mantenimiento asociadas.
- Realización de trabajos no previstos inicialmente como el cambio de las cuatro resistencias del presionador, cambio del etiquetado de equipos de contención y la limpieza del linner de la cavidad.

En cuanto a los niveles de tasa de dosis en planta, continuaron con la evolución descendiente iniciada en el ciclo anterior, situándose en valores no observados desde hacía cinco paradas de recarga.

Durante el año 2006 no se realizó recarga de combustible, sin embargo, se produjeron dos paradas no programadas. La dosis colectiva anual de 2006 fue de 267 mSv·p y la media trienal de 367 mSv·p, valor que representaba el valor más bajo de este parámetro en la historia de la central pero que debe valorarse teniendo en cuenta la larga parada de 2005 y el año sin parada de 2004 que entran en el cálculo de la media. En cuanto al valor significativamente anómalo de la dosis colectiva

anual para un año sin parada de recarga programada, éste estuvo influenciado por los resultados dosimétricos asociados a las dos paradas no programadas inicialmente para ese año. La primera de dichas paradas tuvo lugar durante los meses de marzo y abril para la localización y recuperación de una parte suelta del interior de la caja de agua del generador de vapor A, la segunda parada se programó para la sustitución de los *split-pin* en el interno superior de la vasija del reactor. La primera parada tuvo lugar entre los días 29 de marzo y 29 de abril de 2006 y supuso una dosis colectiva operacional final de 38,164 mSv·p. La segunda parada tuvo lugar entre los días 28 de agosto y 27 de septiembre de 2006, con una dosis asociada de 178,73 mSv·p.

En el año 2007 se produjo una parada para recarga con una duración de 127 días lo que se tradujo en unas dosis de recarga de 748 mSv·p. La duración anormalmente alta de esta recarga y de la de 2005, hacen complicado un análisis de tendencias con posterioridad al año 2003. No obstante, la tasa de dosis media registrada en las tuberías del primario y el índice de dosis (ambos en mínimos históricos) hace esperar que las medidas emprendidas en 2003 puedan ser efectivas. Ese año, las dosis anuales fueron de 783 mSv·p y la media trienal de 610 mSv·p.

El año 2008 fue un año sin recarga, registrándose valores de dosis colectiva de

68 mSv·p, los mayores de la década en años sin recarga y una media trienal similar a la de 2006 (373 mSv·p).

En cuanto a los niveles de tasa de dosis en planta, los valores medidos durante las paradas no programadas afianzaron los buenos resultados en cuanto a la reducción del fondo radiológico ambiental, manteniéndose la tendencia observada en este parámetro desde 2003.

Desde el punto de vista del contexto internacional, Vandellós II se encuentra encuadrada en el ISOE en el grupo W32 de centrales comparables junto con Almaraz, Ascó, Doel, Harris Kori, Ringhals, Summer, Tihange y Yongggwang, sin embargo, Vandellós II no debería estar en este grupo ya que en realidad por diseño debería estar en el grupo de la tercera generación de Westinghouse. Es decir, la comparación con los resultados del grupo W32 debe realizarse teniendo presente que dichas centrales son de diseño más antiguo y por ello, en principio, con mayores dosis colectivas.

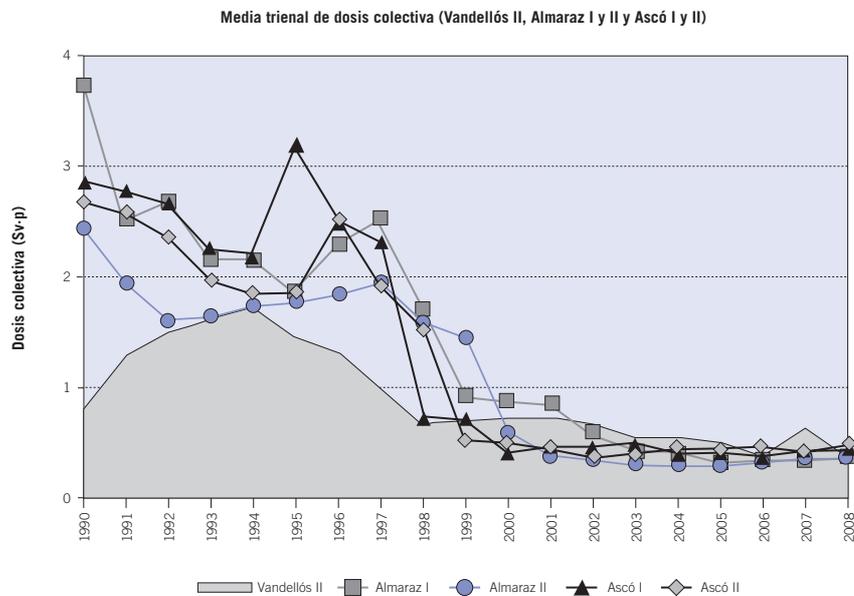
Si nos centramos en la dosis colectiva media trienal, en la gráfica 38 puede observarse cómo Vandellós II ha estado hasta 1999 por debajo de la media de la dosis colectiva de todos los reactores PWR. En cuando a su posición respecto a las centrales del grupo W32, tras la recarga del año 1994 la dosis media trienal se situó por debajo de la de su grupo hasta comienzo de 2000. Durante el

período 2000-2008, los valores de dosis media trienal de Vandellós II y los de la media de su grupo han caminado a la par con alternancia de años por encima y por debajo.

Si además se comparan los resultados de Vandellós II a nivel nacional con las otras cuatro unidades de su grupo ISOE (gráfica 39) se observa cómo esta central ha perdido posicio-

nes respecto al buen comportamiento de las dos unidades de Ascó y Almaraz tras la sustitución de los generadores de vapor y resto de modificaciones de diseño asociadas con una reducción de dosis que ya se han comentado. Sería deseable observar para esta central una mejora respecto a las centrales de su grupo tanto a nivel nacional como internacional propiciada por la disminución observada en los niveles de radiación en planta.

Gráfica 39. Evolución de la dosis media trienal de Vandellós II frente a las centrales españolas de su grupo ISOE



IV.2.3.2. Central nuclear de Trillo

La central nuclear de Trillo comenzó su operación en 1988. Desde entonces no ha cambiado la duración del ciclo de 12 meses. Trillo es de diseño KWU encuadrada en la segunda generación de reactores Siemens de tres lazos (S32). No obstante durante su largo período de construcción se incorporaron a su

diseño sistemas y redundancias propias de la tercera generación de Siemens de cuatro lazos (S43), por lo que a nivel internacional se comparará con ambos grupos de centrales comparables ISOE.

La dosis colectiva en recarga es el contribuyente casi único a la dosis colectiva anual por lo que las formas de las gráficas de la dosis

colectiva anual y de la media trienal son similares. Este hecho explica además que en el caso de la central nuclear de Trillo, se da la circunstancia de que en ciertos años, la dosis colectiva anual, que es la dosis oficial, sea inferior a la dosis colectiva en recarga que es operacional.

Desde un punto de vista histórico (gráficas 40 y 41), las dosis colectivas de la central nuclear de Trillo han estado marcadas por los siguientes hitos:

- La central nuclear de Trillo ha presentado valores muy inferiores a los de la media del ISOE en toda su operación, alcanzándolos sólo en lo que a la dosis colectiva anual se refiere, en el año 1991, coincidiendo con problemas de las bombas de refrigerante.
- La central nuclear de Trillo acumula las menores dosis colectivas y en recarga de todas las centrales nucleares españolas en la década de los 90, modificaciones de diseño incluidas.
- Desde el inicio de operación de la central la evolución de las dosis ha seguido de forma general una tendencia decreciente con repuntes anuales puntuales.
- En 1990, la central nuclear de Trillo tuvo una parada no programada causada por las bombas principales que implicó una dosis cercana a los 800 mSv·p.
- Los problemas con las bombas de refrigerante se repitieron en 1991 cuando se realizó la revisión completa de las tres bombas principales más la recarga de combustible. Adicionalmente, se dio la circunstancia de un aumento de los niveles de radiación debido a la presencia de Sb-124, originado por la activación de componentes. Este año se alcanzó el máximo de dosis colectiva en la central superando los 2 Sv·p.
- Tras los problemas con las bombas del primario que ocasionaron elevados costes radiológicos en los años 90 y 91, las dificultades de operación de la central han estado relacionados con el alternador lo que ha hecho alargar, en algunas ocasiones, el tiempo de las paradas pero sin coste radiológico significativo.
- En 1993 la recarga tuvo una larga duración. Sin embargo, una serie de operaciones de reducción de dosis, basadas en labores de descontaminación, la utilización de una herramienta de extracción de pernos en la vasija del reactor y unas tapas de toberas de los generadores de vapor de manejo rápido permitieron importantes ahorros de dosis.
- Las dosis colectivas en recarga de 1994, 1995, 1996, 1997 y 1998 permanecieron por debajo de los 400 mSv·persona.

- En 1998 se dio el mínimo histórico en toda la trayectoria de la central con 94 mSv·p. Ese año la recarga fue atípica con un alcance de los trabajos muy reducido por lo que ese año debe contemplarse con precaución desde el punto de vista de comparación con los resultados de otras recargas.
- En 1999 se llevó a cabo la modificación de diseño de las válvulas de alivio del presionador y de las líneas correspondientes.

El período 2000-2004 se ha caracterizado por su estabilidad con respecto a las dosis colectivas anuales, sufriendo repuntes y descensos puntuales en torno a los 250 mSv·p de media durante los primeros años del período. Esta tendencia se rompió en 2005 cuando la dosis colectiva alcanzó los 467 mSv·p. Para el período 2005-2008 la dosis colectiva anual se sitúa en el entorno a los 400 mSv.

Durante el período 2000-2008 se han conseguido mínimos históricos de dosis en los años 2001 y 2004.

En 2000 la dosis colectiva anual fue de 274 mSv·p. La dosis colectiva de recarga fue de 264 mSv·p y la media trienal de la dosis colectiva fue de 247 mSv·p.

En 2001 la dosis colectiva anual fue de 225 mSv·p. y la media trienal de la dosis colectiva fue de 291 mSv·p. La dosis colec-

tiva de recarga fue de 210 mSv·p. Con excepción del año 1998 en el que hubo una recarga atípica, la dosis anual de 2001 supuso un mínimo histórico. Ese año, aparte del cambio de juntas del intercambiador de recuperativo del sistema de control químico y de volumen, no hubo actividades radiológicamente significativas durante la operación a potencia ni actividades especiales en recarga por lo que se puede considerar un “año base” desde el punto de vista radiológico.

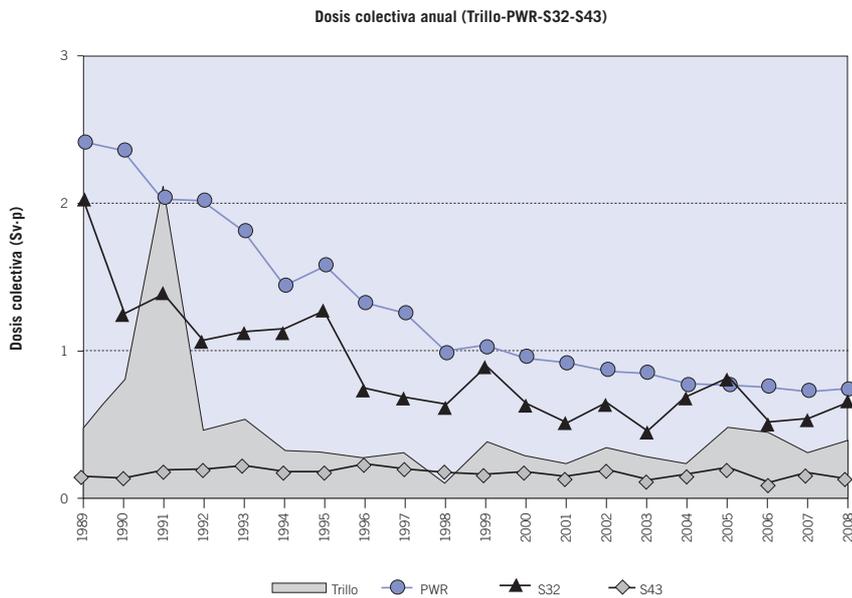
En 2002 la dosis colectiva anual fue de 327 mSv·p y la media trienal de la dosis colectiva fue de 275 mSv·p. La dosis de recarga fue de 273 mSv·p. Ese año, al igual que en 2003 se efectuó la inspección del 100% de los tubos de un generador de vapor y se procedió al taponado de los tubos dañados. Adicionalmente, se realizaron diferentes modificaciones y actividades de acondicionamiento de la planta, provenientes de la experiencia operativa y se realizaron trabajos no previstos como mantenimiento correctivo de válvulas y bombas, y aumento de actividades de limpieza y descontaminación de la zona controlada, lo que explica, por un lado, el incremento en las dosis respecto al año anterior y la diferencia entre la dosis prevista y la real.

En 2003 la dosis colectiva anual fue de 266 mSv·p y la media trienal de la dosis colectiva fue de 273 mSv·p. Los trabajos de recarga finalizaron con 230 mSv·p. Ese año, al igual que en 2002 se efectuó la inspección

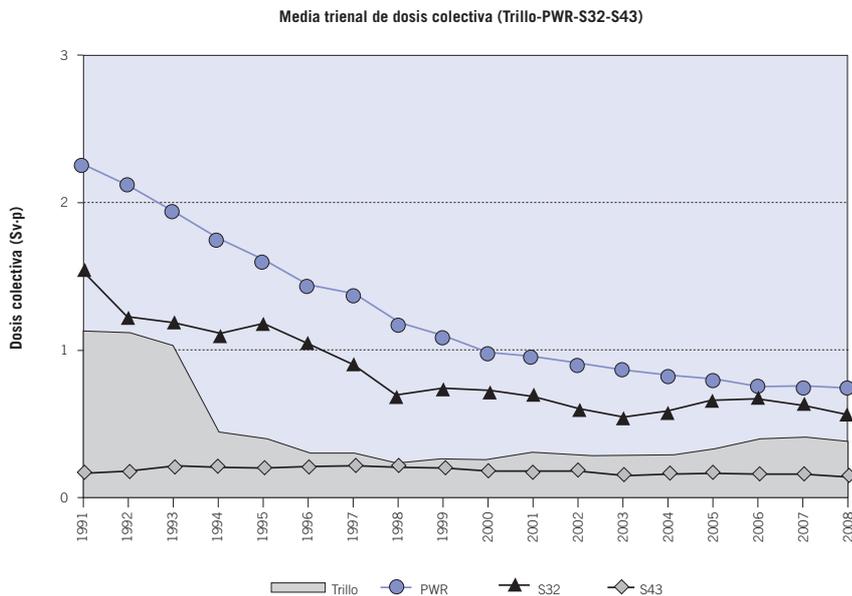
del 100% de los tubos de un generador de vapor y se procedió al taponado de los tubos

dañados, sin embargo no se realizaron modificaciones de diseño a destacar.

Gráfica 40. Evolución de la dosis anual de la central nuclear de Trillo frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Gráfica 41. Evolución de la dosis media trienal de la central nuclear de Trillo frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



En 2004 la dosis colectiva anual fue de 230 mSv·p y la dosis media trienal de 275 mSv·p. Los trabajos de recarga implicaron una dosis de 213 mSv·p. En 2004 no se realizaron actividades relevantes durante la parada de recarga. La dosis anual supuso, de nuevo, un mínimo histórico con excepción de la del año 1998.

En 2005 la dosis colectiva anual fue de 467 mSv·p y la dosis media trienal de 321 mSv·p. La dosis de recarga fue de 239 mSv·p. En 2005 se realizaron las actividades contempladas en el plan de acción relacionado con las filtraciones en la cavidad y la primera fase de la sustitución del aislamiento de los lazos del primario y bomba de refrigerante primario. La recarga finalizó con un retraso de 180 horas debido fundamentalmente a los ensayos por partículas magnéticas y por ultrasonidos no planificados realizados en los álabes de las turbinas de baja de presión, actividad que por sí sola incrementó en 107 horas el camino crítico de la recarga.

En 2006 la dosis colectiva anual fue de 429 mSv·p. La dosis asociada a la recarga fue de 452 mSv·p y la media trienal de la dosis colectiva fue de 375 mSv·p. La dosis tanto anual como de recarga de ese año supuso un fuerte incremento respecto a la media sostenida durante los seis años anteriores. La causa principal de dicho incremento es atribuible, por un lado, a un mayor alcance de los trabajos y, por otro, a los problemas encontrados

durante la inspección de la bomba de refrigeración principal. Por su repercusión en la dosis total destacan las siguientes:

- Segunda fase de la sustitución del aislamiento de los lazos del primario, bomba de refrigerante primario y presionador.
- Revisión de la bomba de refrigerante primario y reparaciones e inspecciones realizadas en dicha bomba como consecuencia de su avería.
- Revisión de la válvula de retención del primer aislamiento de lazo 3.

En 2007 la dosis operacional de recarga bajó a 309 mSv·p, siendo la dosis oficial anual de 299 mSv·p y la media trienal de 398 mSv·p.

El incremento de la dosis operacional en esta recarga se debió a la necesidad de realizar actividades no previstas inicialmente en zonas de altas tasas de dosis, porque al retirar los internos de la bomba principal del lazo 3 de la carcasa de la misma, quedaron alojados en su interior la caja del impulsor y la tobera de aspiración, lo que implicó trabajos adicionales para su extracción y mecanización, así como los correspondientes trabajos de inspección y apoyo necesarios. A esto se unieron las dificultades asociadas a la revisión de la válvula de retención del primer aislamiento del lazo 3.

El año 2008 registró valores intermedios de dosis colectivas en las últimas recargas (354 mSv·p), valores anuales de 382 mSv·p y media trienal de 370 mSv·p.

Los principales trabajos que contribuyeron a las dosis colectivas de recarga fueron los siguientes:

- Tareas relacionadas con la extracción e inspección de la barra de control S-91.
- Trabajos realizados sobre las bombas principales consistentes en:
 - Inspección y desmontaje de la bomba principal YD30.
 - Inspección por ultrasonidos de la carcasa de las tres bombas principales.
- Inspección del 100% de tubos de los generadores de vapor YB30 e YB20.

En el contexto internacional, la central nuclear de Trillo ha presentado valores inferiores a los de la media de todos los reactores comparables (reactores Siemens de segunda generación de 3 lazos, grupo ISOE S32) en toda su operación, superándolos de forma puntual en 1991, coincidiendo con los problemas ya comentados en las bombas del primario. Respecto al otro grupo de centrales

comparables S43, se observa que las dosis colectivas anuales como las medias trienales se han situado a lo largo de la historia operativa de la central por encima de las dosis anuales de las centrales de cuatro lazos de la tercera generación. En consecuencia, dado que las dosis del grupo S32 han venido siendo inferiores a la dosis media de todos los reactores PWR, las dosis de la central nuclear de Trillo se sitúan significativamente por debajo de dicha media, en concreto, durante el período 2000-2008 se situaron en promedio 2,5 veces por debajo de la media de todos los reactores PWR.

Si la media trienal de todos los reactores PWR ha seguido una tendencia general claramente decreciente, la media trienal de la central nuclear de Trillo se ha mostrado mucho más estable en el período 1995-2004 y ligeramente creciente desde entonces. No obstante, es de destacar que la dosis media trienal del grupo S32 ha sufrido un punto de inflexión en su tendencia desde 2003, con un incremento significativo que la llevó a acercarse a la dosis media de todos los reactores PWR en 2006. Este incremento durante el período 2003-2006 ha sido principalmente debido a incrementos en el alcance de la recarga por modificaciones de diseño en la central suiza de Gôsgen 1, una de las tres centrales que componen el grupo S32.

V. Conclusiones

V. Conclusiones

El Informe INTERDOS 2000-2008 ha presentado la evolución de la exposición ocupacional de las centrales nucleares españolas durante el período 2000-2008 dentro del contexto internacional, con el propósito de disponer de una información contrastada que permita valorar la extensión de la aplicación de los criterios Alara en las centrales nucleares españolas e identificar aquellas áreas de atención preferente.

Durante el período 2000-2008, además de la continuidad en la implantación del principio Alara a través de la planificación, seguimiento y análisis de los trabajos, que había comenzado en la década de los 90, en España han ocurrido hitos en el mundo de la protección radiológica, que han contribuido al impulso de la aplicación del principio Alara. Entre estos hitos destacan: la publicación del nuevo Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, Real Decreto 783/2001; la publicación de las siguientes instrucciones del CSN directamente relacionadas con la protección radiológica ocupacional: IS-01, IS-02; IS-03, IS-04, IS 06, IS-08, IS-10; la armonización del contenido y alcance de los manuales de protección radiológica de las centrales españolas y el comienzo de la implantación del nuevo Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC).

Los datos de exposiciones ocupacionales utilizados en el presente informe se han obtenido de la base de datos del Programa ISOE, la mayor base de datos de exposiciones ocupacionales a nivel mundial. Se han utilizado como referencia los informes anuales del ISOE, los informes de evaluación de las recargas realizados por el Área de Protección Radiológica de los Trabajadores y los informes finales de recarga requeridos por la IS-02.

El Sistema de Información de Exposiciones Ocupacionales (ISOE) es una red de comunicaciones entre participantes tanto de los explotadores de centrales nucleares (públicas y privadas) como de las autoridades reguladoras nacionales, a la vez que un programa para la adquisición, análisis y divulgación de los datos de exposición ocupacional. Desde 1993 el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) patrocina el programa ISOE permitiendo la participación de centrales y autoridades reguladoras de los países no miembros de la OCDE/NEA, habiéndose creado un Secretariado conjunto NEA/OIEA. A finales de 2008, el Programa ISOE incluía datos de 397 centrales en operación pertenecientes a 29 países, lo que representa en torno al 90% de los reactores comerciales operativos en el mundo. Un total de 22 autoridades reguladoras participan en dicho programa.

Se presenta a continuación un resumen del informe que se ha estructurado contemplando en primer lugar el contexto de las exposiciones

ocupacionales en el mundo (ámbito ISOE): total por regiones y por tipo de reactor. A continuación se analiza la exposición ocupacional en España frente al contexto internacional del ISOE para los dos tipos de reactores existentes en España PWR y BWR. Finalmente, se ha presentado un análisis individualizado de cada central española, a través de la evolución de su exposición ocupacional respecto al conjunto de centrales de su mismo tipo y respecto a los denominados “grupos de centrales comparables” (*sister plants* o centrales gemelas) de acuerdo a la clasificación del ISOE en plantas de similares características. Dicho análisis cubre de forma breve los hitos históricos más importantes desde el inicio de operación de cada planta para pasar a centrarse en el período 2000-2008. Las nueve plantas españolas pertenecen a cinco grupos diferentes de centrales comparables bajo el criterio ISOE².

V.1. La exposición ocupacional en el mundo: ámbito ISOE

A nivel mundial el número de reactores en operación fue incrementándose de forma continua hasta la década de los 90, habiéndose estabilizado desde el año 2002 en torno a los 397 reactores. En los últimos años el número

de reactores en Asia ha experimentado un aumento. Los reactores tipo CGR (Reactores Refrigerados por Gas) han ido disminuyendo progresivamente desde 1989 (gráfica 1).

La dosis colectiva total anual para el conjunto de reactores de la base de datos ISOE (gráfica 2), ha seguido una tendencia claramente decreciente desde principios de los años 80, registrándose en 2008 el valor más bajo de dosis colectiva para todo el parque ISOE (317 Sv·p).

La dosis colectiva media por reactor (gráfica 3) sigue una tendencia similar. La tendencia fue creciente hasta principios de los años 80 para a partir de entonces seguir una clara tendencia a la baja que parece estabilizarse en el período 2000-2008 en torno a 0,9 Sv·p. El valor mínimo, 0,83 Sv·p, corresponde al año 2006.

El análisis de la exposición ocupacional por regiones (gráfica 5) muestra que hasta los años 90 la mayor contribución al cómputo global anual correspondía a Norteamérica. Desde finales de los años 90 la contribución de Norteamérica es similar a la de Europa, siendo ambas algo superiores a la contribución de Asia.

Para el período 2000-2008 los valores de dosis colectiva media por reactor (gráfica 6) más altos corresponden a Asia (1,22 Sv·p en 2008) seguida de Norteamérica (0,99 en

2. El criterio aplicado por el Sistema ISOE para agrupar las diferentes plantas en centrales gemelas (*sister plants*) o comparables es triple: mismo constructor, números de lazos y generación. En la tabla 9 del anexo I se indican los diferentes grupos establecidos por ISOE para las plantas españolas.

2008). Europa se mantiene en valores inferiores a 1 Sv·p desde el año 1999 (0,62 Sv·p en 2008).

En cuanto a la exposición ocupacional por tipo de reactor (gráfica 4) cabe señalar que si bien siguen un patrón similar, las dosis medias para los reactores BWR siempre se sitúan por encima de las de los reactores PWR, siendo éstos últimos los de mayor peso relativo en la dosis colectiva media para el conjunto de reactores.

Durante el período 2000-2008, la dosis media de todos los reactores tipo PWR (gráfica 7) en el ISOE siguió una tendencia general decreciente para todas las regiones excepto Asia. La dosis colectiva media para el global de reactores PWR en el período 2000-2008 es de 0,8 Sv·p, habiéndose mantenido desde el año 2000 por debajo de 1 Sv·p.

Para los reactores BWR (gráfica 8), desde 1997, América y Asia se han ido alternando en ser la región con mayor dosis media por reactor, correspondiendo a Europa las dosis más bajas. La dosis colectiva media para el global de reactores BWR en el período en estudio es de 1,5 Sv·p, habiendo pasado de 1,63 Sv·p en el año 2000 a los 1,31 del año 2008. El máximo se situó en 1,77 Sv·p en el año 2003.

V.2. La exposición ocupacional en España en relación con el ámbito ISOE

La evolución de la dosis colectiva por reactor en España presenta, de forma global para el conjunto de reactores del país, una tendencia claramente descendente desde los años 80, situándose desde finales de los 90 por debajo de la media del conjunto de reactores participantes en ISOE, siendo inferior a los valores globales de Norteamérica y Asia (gráfica 9).

Hasta 1998, la dosis media en España se situaba en promedio por encima de la dosis media en Europa, Asia y la media de todas las regiones. El año 1998 supuso un punto de inflexión para España alcanzándose un valor de dosis media por reactor de 0,55 Sv·p inferior al de todas las regiones incluidas en el ISOE (Europa, Norteamérica y Asia) y por tanto al valor medio del ISOE para todo tipo de reactores. Esta reducción de dosis mostraba el efecto sobre los reactores PWR del cambio de generadores en cuatro reactores y en los BWR la gestión Alara integrada y la aplicación extensiva de los principios de minimización de dosis. A esta disminución contribuyó también un rasgo común a los reactores PWR y BWR como fue el acortamiento del tiempo de parada de recarga y la circunstancia adicional en 1998 de ausencia de recarga de las dos centrales BWR.

En el período 2000-2008 se continúa en general con la tendencia decreciente a excepción

del año 2007 en el que España supera la dosis colectiva por reactor del conjunto de reactores ISOE y de Norteamérica, situándose en un valor similar a Asia, debido a la elevada dosis colectiva que supusieron las modificaciones de los CRDH realizadas en la central nuclear de Cofrentes.

Durante este período (con la excepción ya comentada del año 2007), España no ha perdido esta situación ventajosa con dosis por debajo de Asia, África, Norteamérica, y la media del parque ISOE, siendo sus dosis comparables en promedio a las del parque europeo. Es de destacar que los años 2004, 2006 y 2008, coincidiendo con un menor número de recargas y con la ausencia de recargas en los reactores BWR, España alcanza valores inferiores a 0,4 Sv·persona. En el año 2008 se obtiene un mínimo histórico de 0,31 Sv·p. Por contra, en los años 2003 y 2005 España se sitúa en valores ligeramente superiores a los de Europa y muy por encima en 2007.

La mejora del comportamiento en los datos españoles se debe, entre otros factores, a una voluntad decidida de las centrales nucleares de aplicar medidas Alara, tanto en aspectos organizativos, modificando la concepción de la aplicación del criterio Alara hacia una visión más globalizada, con el consiguiente reflejo en las estructuras organizativas y en la definición de responsabilidades, como en la motivación, formación e información de los trabajadores, con responsabilidades definidas

a todos los niveles jerárquicos y a todas las áreas. El impulso que ha sido promovido desde el CSN ha tenido, por lo tanto, una respuesta efectiva en los explotadores que lo han adoptado como principio en la mayoría de los casos. Adicionalmente, han contribuido a esta evolución las importantes modificaciones de diseño llevadas a cabo en años anteriores y programas de reducción del término fuente.

Es obvio que a pesar de la evolución general favorable de las dosis ocupacionales en el parque español en su conjunto en relación con ellas mismas y con el contexto internacional, ni el CSN ni los titulares debemos caer en la complacencia debiendo continuar con la promoción del desarrollo de la “cultura” Alara en nuestras centrales nucleares y en especial en las centrales donde mayor desviación se encuentra respecto a ellas mismas y a la media de los países de nuestro entorno, en particular la central nuclear de Cofrentes como se verá más adelante.

Estos datos deben matizarse analizando por separado el comportamiento de las centrales PWR y BWR.

V.2.1. Exposición ocupacional media de los reactores PWR en España frente a reactores PWR del ámbito ISOE

El período 2000-2008 se caracteriza por una tendencia general ligeramente decreciente de la dosis media anual y trienal por reactor para

el conjunto de centrales PWR (gráficas 10 y 11). Tras las modificaciones de diseño que se acometieron en la década de los 90³ y que llegaron a situar a España algo por encima del resto de países europeos, en el período 2000-2008 España presenta una situación ventajosa en comparación con Europa y América. Tanto la dosis colectiva anual por reactor como la dosis trienal presenta valores inferiores a los de estas regiones, situando el grupo de reactores PWR españoles por debajo de la media de todo el ámbito ISOE.

En comparación con distintos países con igual tipo de reactores (gráficas 12 y 13) España se sitúa en el techo inferior de la franja de dosis colectiva por reactor con dosis por debajo de USA, Francia y Alemania, y con dosis comparables a las de Suiza, Suecia, Bélgica y Corea. Hay que notar no obstante que en los dos últimos años, la tendencia se ha estabilizado.

V.2.2. Exposición ocupacional media de los reactores BWR en España frente a reactores BWR del ámbito ISOE

En lo que se refiere a las centrales BWR (gráficas 14 y 15) existe un factor decisivo al establecer las comparaciones entre España y el

3. Entre 1994 y 1998 se llevaron a cabo en España grandes modificaciones de diseño de gran coste radiológico que explican los valores alcanzados en ese período. Destacan los trabajos de sustitución de los generadores de vapor (PSGV) en Ascó I y II y Almaraz I y II, los trabajos de inspección y reparación en las penetraciones de la tapa de la vasija de José Cabrera y la sustitución del *by-pass* de las RTD en Vandellós II.

resto de regiones: la media de dosis anual de los reactores BWR españoles es muy sensible y fluctuante debido al ciclo de operación largo de la central nuclear de Santa María de Garoña, al cambio de duración del ciclo en 2003 de la central nuclear de Cofrentes y al contar con sólo dos reactores. La combinación de estos factores explica que las dosis medias anuales no sigan un patrón definido y que la media de los reactores BWR españoles sea altamente dependiente de cuántas centrales realizaron parada para recarga y de qué central realizó la parada. Estos hechos se suavizan al considerar la dosis trienal.

A lo largo del período 2000-2008, se ha invertido la contribución de cada central a la media como consecuencia de tendencias marcadamente diferentes para ambas centrales. La contribución de Garoña marcó la tendencia hasta finales de los 90 y, desde finales de los 90 Cofrentes ha pasado a contribuir en mayor medida a la media de los reactores BWR españoles.

España se sitúa claramente por encima de los valores europeos en el período en estudio 2000-2008 en dosis trienal. Respecto a la dosis colectiva media por reactor, España también alcanza valores superiores a los del resto de BWR europeos en los años en que coinciden recarga en las dos plantas españolas.

En relación con los reactores BWR americanos, a partir de 2003 las dosis

colectivas medias por reactor de las centrales españolas se sitúan por encima de los valores de las centrales nucleares americanas en los años en que coinciden recarga en las dos centrales españolas. La dosis colectiva media trienal en estos años de recarga alcanza el valor para las centrales nucleares americanas, superándolo claramente a partir del año 2007. Estos hechos son atribuibles a la situación de la central nuclear de Cofrentes como se explicará más adelante. Durante el período 2000-2008 las dosis de las centrales suecas han vuelto a situarse claramente por debajo de las españolas (gráficas 16 y 17).

V.3. Conclusiones sobre el análisis individualizado de los reactores españoles

V.3.1. Centrales BWR

La central nuclear de Santa María de Garoña comenzó su operación comercial en 1971 y la de Cofrentes en 1984. La tendencia de las dosis colectivas de ambas plantas ha sido muy diferente en los últimos años. Santa María de Garoña ha pasado de ser la central con las dosis históricas más elevadas del parque español a experimentar una reducción espectacular de las dosis, situándola con mejores resultados que la central nuclear de Cofrentes y situándola en una posición muy favorable a nivel internacional. Por su lado, Cofrentes ha sufrido una evolución inversa con una tendencia creciente en las dosis que la ha situado como la central con mayores

dosis de España y una posición muy desfavorable a nivel internacional.

V.3.1.1. Central nuclear de Santa María de Garoña

La evolución de las dosis ocupacionales en la central nuclear de Santa María de Garoña ha seguido una tendencia decreciente con un importante descenso en la dosis a partir de 1996, situando a esta central con uno de los mejores resultados tanto de dosis anual como de dosis media trienal, no sólo entre su grupo de centrales comparables sino también del mundo (gráficas 18, 19 y 20).

Desde mediados de los años 90 la central nuclear de Santa María de Garoña llevó a cabo un Plan de Reducción de Dosis⁴ con el que se redujeron tanto las tasas de dosis de la planta como las colectivas de los trabajadores, superando incluso los objetivos establecidos por el Institute of Nuclear Power Operators (INPO).

Desde el punto de vista internacional, el período 2000-2008 se caracteriza para Santa María de Garoña por la tendencia estable en las dosis trienales que han logrado situarla claramente por debajo de la media mundial

4. Las acciones principales fueron: desarrollo de una estrategia de implantación del principio Alara con importante compromiso de la dirección de la central, sustitución de los cambiadores de calor del *clean-up*; medidas de reducción del término fuente: descontaminación de lazos de recirculación, filtrado del condensado, inyección de Zn empobrecido.

por tipo de reactor (BWR) y de su grupo (GE 2), posición que viene manteniendo desde 1999.

V.3.1.2. Central nuclear de Cofrentes

Las dosis ocupacionales, tanto anuales como la media trienal, en la central nuclear de Cofrentes (gráficas 22 y 23) siguieron una tendencia creciente desde finales de los 80 hasta el año 1991 en que se situó por encima de los su grupo GE 5 y del conjunto de centrales BWR. Los años 90 (1991-1998) estuvieron marcados por una tendencia claramente decreciente, tanto de las dosis en recarga como de la media trienal hasta el punto de que durante los años 1996-1998, la central nuclear de Cofrentes se situó por debajo de los dos grupos, GE 5 y BWR.

A partir de 1999 comienza un nuevo período alcista, y tanto la dosis anual en los años de recarga como la media trienal desde 1999 se encuentran por encima de la media de las centrales comparables y de la media de todas las centrales BWR a nivel mundial.

El período 2000-2008 se ha caracterizado por una evolución creciente de las dosis tanto para los años con recarga como para los años sin recarga, para la dosis colectiva anual y para la dosis colectiva media trienal. El año 2006 presenta unos resultados discrepantes con esta tendencia ya que fue un año sin parada de recarga y en el cálculo de la dosis

colectiva trienal para este año se contabilizan dos años sin parada.

Este incremento en las dosis a lo largo del período 2000-2008 es atribuible, por un lado, a los incrementos inesperados en los niveles de tasa de dosis en el pozo seco, ya de por sí elevados, en especial los medidos en las paradas de 2003, 2005 y 2007; y, por otro lado, a alcances de los trabajos de las paradas más importantes, y finalmente a trabajos emergentes no programados, como los del sistema hidráulico de los accionadores de las barras de control (CRDH) en 2005 y 2007. El gran alcance de la parada y las dosis asociadas a la modificación de los CRDH del año 2007 originaron unas dosis superiores a los 4 Sv·p que no se observaban en la central desde mediados de la década de los 90.

En el contexto internacional, la posición de la central nuclear de Cofrentes durante el período 2000-2008 es la más desfavorable desde su puesta en marcha, con dosis anuales para los años de parada de recarga y dosis media trienales por encima tanto de las de su grupo de centrales comparables (GE 5) como de la media de todas las centrales BWR a nivel mundial en el contexto del ISOE. Desde 1999 hasta 2008, la media trienal de la central nuclear de Cofrentes se sitúa por encima de la media americana (gráfica 24).

La comparación de la central nuclear de Cofrentes con las dosis medias trienales de

todas las centrales de su grupo, GE 5 (gráfica 25) pone de manifiesto que la central nuclear de Cofrentes ha ido perdiendo posiciones desde mediados de los años 90. El descenso en las dosis colectivas de todas las centrales americanas hermanas de Cofrentes ha sido mayor que el observado en las dosis colectivas de esta central en los últimos años. Las dosis de Leibstad, única central europea perteneciente al grupo GE 5 son las más bajas del grupo.

La central nuclear de Cofrentes está siendo objeto de especial atención por parte del CSN en relación con la implantación del principio Alara (ref. 59), en particular con vistas a vigilar que se establezca un plan de actuación para reducir el término fuente, las dosis individuales y la mejora de la gestión de los trabajos.

V.3.2. Centrales PWR

Durante el período 2000-2008, el parque español de reactores en operación PWR estuvo compuesto por siete reactores, cesando José Cabrera su actividad para iniciar el desmantelamiento en 2006.

Tradicionalmente, se han clasificado estos siete reactores en generaciones de acuerdo a su época de construcción y tipo de reactor. Así la denominada primera generación PWR española estaba compuesta sólo por la central nuclear José Cabrera, la segunda generación

de plantas PWR española la integraban las centrales nucleares Almaraz I y II, y Ascó I y II. Por último, la tercera generación estaba integrada por dos centrales de muy diferente diseño, las centrales nucleares Vandellós II y Trillo. A lo largo de los años, los diferentes reactores han experimentado modificaciones de diseño que hacen que dicha agrupación pierda un poco su sentido, si bien es cierto que por ejemplo en el caso de las centrales de segunda generación, las modificaciones han sido muy similares, por este motivo se ha expuesto una apartado específico para presentar sus similitudes.

V.3.2.1. Primera generación de reactores PWR

Central nuclear José Cabrera

Esta central inició su operación en 1968 produciéndose el cese definitivo el 30 de abril de 2006 por lo que para esta central el período en estudio se limita a los años 2000-2006. Estos años se caracterizaron por la progresiva disminución de las dosis colectivas anuales y de las dosis medias trienales (gráficas 26 y 27) que puede atribuirse, por un lado, a la repercusión en las dosis colectivas anuales, y a las de recarga de las operaciones, y a las modificaciones acometidas en la central durante la década de los 90.

En el contexto internacional, la central nuclear de PWR pertenece al grupo O00 que integra los reactores más antiguos en diseño

por un determinado constructor e incluye 11 plantas de potencia doble o triple y mayor número de lazos que José Cabrera. Esta diferencia es una de las razones por las que tradicionalmente la central nuclear José Cabrera se ha situado desde finales de los 80 con dosis inferiores a las de su grupo de centrales comparables.

Durante el período 2000-2006 y teniendo en cuenta la tendencia decreciente en las dosis de José Cabrera se mantuvo esta misma posición aumentando la diferencia respecto a su grupo.

Respecto a la dosis media trienal de las centrales PWR ISOE, la central José Cabrera se situó desde el principio de su operación con dosis superiores a la media de las centrales PWR del ISOE. Sin embargo, en los años 2000-2006 las dosis de la central nuclear José Cabrera fueron inferiores a las dosis del total de centrales PWR.

V.3.2.2. Los reactores españoles de segunda generación PWR

La segunda generación de plantas PWR española la integran las centrales nucleares Almaraz I y II, y Ascó I y II. Su comportamiento en cuanto a la evolución de la dosis colectiva ha sido muy semejante, atravesando las cuatro unidades tres escenarios que han determinado, en gran medida, sus actuaciones y los resultados subsecuentes (gráfica 28).

Tras los primeros problemas de degradación de los tubos de los generadores de vapor, y en los que se registraron los valores máximos de dosis colectiva, entre los años 1985-1987 las cuatro unidades evolucionaron con dosis colectiva decreciente a pesar del aumento de taponado de tubos y las inspecciones en generadores.

Entre los años 1995 y 1997 las dosis ocupacionales aumentaron por la ejecución de los trabajos de sustitución de generadores de vapor (PSGV), tapas de la vasijas (Almaraz I y II solamente) y eliminación del *by-pass* de la RTD's en las cuatro unidades.

Finalmente a partir de 1998 la dosis colectiva anual sufrió un importante descenso y en el período en estudio se ha estabilizado. La dosis media trienal se sitúa al final del período 2000-2008 en valores próximos a 0,35 Sv·p para Almaraz I y II y entorno a 0,45 Sv·p para Ascó I y II.

Central nuclear de Almaraz

Desde la entrada en funcionamiento de las dos unidades de la central nuclear de Almaraz, la tendencia de dosis colectiva ha sufrido una evolución a la baja, desde máximos globales de 4,8 Sv·p en media para las dos unidades en 1985 hasta valores en torno a 0,5 Sv·p para las dos unidades los últimos años con recarga.

Para ambas centrales, el período 2000-2008 ha estado marcado por una tendencia general para la dosis colectiva anual estable con un ligero repunte en las recargas de 2006 (unidad I) y 2007 (unidad II) (gráficas 29 y 30). En el caso de Almaraz I los primeros años se ven afectados todavía por el suceso de contaminación por antimonio a causa de una rotura de una fuente secundaria en 1999.

Para ambas centrales la dosis colectiva media trienal (gráficas 31 y 32) ha supuesto mínimos históricos consecutivamente desde 2000 hasta 2005 produciéndose un leve incremento de la misma en los tres últimos años del período 2000-2008 (0,36 Sv·p en 2008 para las dos unidades). Este parámetro se vio afectado también durante los primeros años del período 2000-2008 por la contaminación con antimonio en la unidad I.

En el contexto internacional, ambas centrales pertenecen al grupo W32 del ISOE (reactores Westinghouse de tres lazos y 2ª generación). Hasta los años 2000, las dosis de Almaraz I y de Almaraz II se encontraron de forma general por encima de la media de sus centrales comparables y salvo durante una ventana de cuatro o cinco años a principios de los 90, por encima de la media de todos los reactores PWR.

A partir del año 2000 para Almaraz II y del año 2002 para Almaraz I ambas centrales se sitúan con dosis inferiores no sólo a la de

todos los reactores PWR sino también a la media de su grupo de centrales comparables.

Central nuclear de Ascó

Para ambas centrales, como puede apreciarse en las gráficas 33, 34, 35 y 36, la tendencia general de la dosis colectiva es de disminución desde finales de los años 90, tras los trabajos de sustitución de los generadores de vapor. La dosis colectiva anual se encuentra en valores en torno a los 0,6 mSv·p para las dos unidades en los últimos años con recarga.

Para ambas unidades, la dosis colectiva anual para el período 2000-2008 presenta de forma general una situación estable en valores ligeramente superiores a los correspondientes a sus centrales gemelas en los años en los que se realiza parada para recarga, siendo inferior el resto de los años sin recarga. La central nuclear de Ascó se sitúa por debajo de la dosis colectiva anual para el conjunto de reactores PWR. La dosis colectiva anual para los años sin parada se ha visto incrementada desde el inicio del período en estudio.

Respecto a la dosis trienal, desde 1998 la media de la dosis trienal para los dos reactores de la central nuclear de Ascó, se sitúa por primera vez en su historia por debajo de la media trienal de dosis colectiva de los reactores PWR y de los reactores comparables del ISOE W32. En el período en estudio, la dosis trienal presenta una tendencia estable, siendo

inferior a la del conjunto de reactores PWR y centrales gemelas. En los últimos años la dosis media trienal se ha ido aproximando a la dosis trienal de las centrales gemelas.

V.3.2.3. Tercera generación de reactores PWR

Central nuclear Vandellós II

Las dosis colectivas de la central nuclear Vandellós II han venido influenciadas desde el comienzo de su operación por unas tasas de radiación superiores a las esperadas en un reactor de sus características, debido al aporte de material metálico en unas operaciones de mantenimiento preventivo realizado antes de la entrada en funcionamiento de la central (gráficas 37 y 39).

La dosis colectiva anual presenta en el período 2000-2008 una tendencia ligeramente decreciente en los años de recarga, pasando de 958 mSv·p en el año 2000 a 783 mSv·p en la última recarga de 2007. Destaca el aumento de la dosis colectiva en el año 2006 en el que a pesar de no haberse realizado la recarga tuvieron lugar dos paradas para la realización de trabajos especiales. Los valores de dosis colectiva anual se sitúan en valores similares a los del conjunto de centrales PWR y son superiores a los de sus centrales gemelas.

Los valores para la dosis trienal de Vandellós son inferiores a los del conjunto de centrales PWR, y presentan una tendencia decreciente

hasta el año 2006. Tras la recarga del año 1994 la dosis media trienal se situó por debajo de la de su grupo hasta comienzo de los años 2000, si bien durante los primeros años del período en estudio 2000-2008 Vandellós se situaba por encima de sus centrales gemelas⁵, en los años 2005 y 2006 esta situación se invirtió. El año 2007 supuso un aumento de esta dosis trienal siendo el valor de 2008 de nuevo inferior al de sus centrales gemelas.

En cuando a su posición respecto a las centrales españolas del grupo W32 (gráfica 39) se observa cómo a pesar de la tendencia general moderadamente decreciente de Vandellós II esta central ha perdido posiciones respecto al buen comportamiento de las dos unidades de Ascó y Almaraz tras la sustitución de los generadores de vapor y resto de modificaciones de diseño asociadas con una reducción de dosis que ya se han comentado. Sería deseable observar para esta central una mejora respecto a las centrales de su grupo, tanto a nivel nacional como internacional, propiciada por la disminución observada en los niveles de radiación en planta.

5. Desde el punto de vista del contexto internacional, Vandellós II se encuentra encuadrada en el ISOE en el grupo W32 de centrales comparables junto con Almaraz, Ascó, Doel, Harris Kori, Ringhals, Summer, Tihange y Yonggwang, sin embargo, Vandellós II no debería estar en este grupo ya que en realidad por diseño debería estar en el grupo de la tercera generación de Westinghouse. Es decir, la comparación con los resultados del grupo W32 debe realizarse teniendo siempre en mente que las centrales con las que se compara son en realidad plantas de diseño más antiguo, y por ello cabría esperar en principio, con mayores dosis.

Central nuclear de Trillo

El período 2000-2004 se ha caracterizado por su estabilidad con respecto a las dosis colectivas anuales (gráfica 40) sufriendo repuntes y descensos puntuales en torno a los 250 mSv·p de media del período. Desde el año 2005 la dosis colectiva anual ha sufrido un incremento hasta situarse en torno a los 400 mSv·p de media para el período 2005-2008. Las dosis anuales de la central nuclear de Trillo se sitúan significativamente por debajo de la media de todos los reactores PWR, presentando valores inferiores a los de la media de todos los reactores comparables (reactores Siemens de 2ª generación de tres lazos, grupo ISOE S32).

Respecto de la dosis media trienal (gráfica 41) la evolución para el período es similar, estabilidad hasta el año 2005 e incremento desde entonces hasta situarse en valores más próximos a los de sus centrales gemelas⁶, que desde 2003 ha aumentado

acercándose a la dosis media de todos los reactores PWR.

Respecto al otro grupo de centrales comparables S43, se observa que tanto las dosis colectivas anuales como las medias trienales se han situado a lo largo de la historia operativa de la central ligeramente por encima de las dosis anuales de las centrales de cuatro lazos de la tercera generación, aumentando su diferencia desde el año 2005.

Si la media trienal de todos los reactores PWR y, de forma más suavizada, la media de las dosis del grupo S32, han seguido una tendencia general claramente decreciente, la media trienal de la central nuclear de Trillo se ha mostrado mucho más estable desde 1995. No obstante es de destacar que la dosis media trienal del grupo S32 ha sufrido un punto de inflexión en su tendencia desde 2003, con un incremento significativo que le está llevando a acercarse a la dosis media de todos los reactores PWR.

6. Trillo es de diseño KWU encuadrada en la segunda generación de reactores Siemens de tres lazos (S32). No obstante, durante su largo período de construcción se incorporaron a su diseño sistemas y redundancias propias de la tercera generación de Siemens de cuatro lazos (S43) por lo que a nivel internacional se compara con ambos grupos de centrales ISOE.

VI. Referencias bibliográficas

VIII. Referencias bibliográficas

- [Ref. 1] CSN/IEV/APRT/GENER/0000/9910/491. Evolución de las dosis ocupacionales en las centrales nucleares españolas. Informe INTERDOS. 1989-1999.
- [Ref. 2] CSN/IEV/APRT/GENER/0000/9705/363. Evolución de las dosis ocupacionales en las centrales nucleares españolas. Informe INTERDOS. 1997.
- [Ref. 3] CSN/IEV/PROCU/GENER/GENER/0000/9506/2569. Informe INTERDOS de 1995.
- [Ref. 4] ISOE Annual Report 2000.
- [Ref. 5] ISOE Annual Report 2001.
- [Ref. 6] ISOE Annual Report 2002.
- [Ref. 7] ISOE Annual Report 2003.
- [Ref. 8] ISOE Annual Report 2004.
- [Ref. 9] ISOE Annual Report 2005.
- [Ref. 10] ISOE Annual Report 2006.
- [Ref. 11] ISOE Annual Report 2007.
- [Ref. 12] ISOE Annual Report 2008.
- [Ref. 13] CSN/IEV/APRT/SMG/PEP/303/505. Evaluación del informe final de la parada de recarga de 2001 de la central nuclear de Santa María de Garoña. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 14] CSN/IEV/APRT/SMG/PEP/0309/512. Evaluación del informe final de la parada de recarga de 2003 de la central nuclear de Santa María de Garoña. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 15] CSN/IEV/APRT/SMG/PEP/0508/569. Evaluación del informe final de la parada de recarga de 2005 de la central nuclear de Santa María de Garoña. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 16] CSN/IEV/APRT/COF/PEP/0106 /685. Evaluación del informe final de la duodécima parada de recarga de la central nuclear de Cofrentes (año 2000). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 17] CSN/IEV/APRT/COF/PEP/0403/792. Evaluación de los informes finales de la decimotercera y decimocuarta parada de recarga de la central nuclear de Cofrentes (años 2002 y 2003).

Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 18] CSN/IEV/APRT/COF/0705/867. Evaluación del informe final de la decimoquinta parada de recarga de la central nuclear de Cofrentes (año 2005). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 19] CSN/IEV/APRT/JCA/PEP/0102/794. Evaluación del informe final de la vigesimocuarta parada de recarga de 2000 de la central nuclear José Cabrera. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 20] CSN/IEV/APRT/JCA/PEP/0502/912. Evaluación del informe final de las paradas 25, 26 y 27 de recarga de la central nuclear José Cabrera, correspondientes a los años 2001, 2002 y 2003. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 21] Controles dosimétricos del personal de explotación de José Cabrera (años 2001 a 2005). JC/CSN-036106.

[Ref. 22] Controles dosimétricos del personal de explotación de José Cabrera (años 2002 a 2006). JC/CSN-036106. JC/CSN-025/07.

[Ref. 23] CSN/IEV/APRT/ALO/0003/61. Evaluación del informe final de la decimotercera parada de recarga de la unidad I de la central nuclear de Almaraz (año 1999). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 24] CSN/IEV/APRT/ALO/PEP/0207/141. Evaluación del informe final de la decimocuarta parada de recarga de la unidad I de la central nuclear de Almaraz (año 2000). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 25] CSN/IEV/APRT/ALO/PEP/0103/99. Evaluación del informe final de la duodécima parada de recarga de la unidad II de la central nuclear de Almaraz (año 2000). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 26] CSN/IEV/APRT/ALO/PEP/0307/168. Evaluación del informe final de la decimotercera parada de recarga de la unidad II de la central nuclear de Almaraz (año 2002). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 27] CSN/IEV/APRT/AL1/PEP/0406/195. Evaluación del informe final de la decimoquinta y decimosexta paradas de

recarga de la central nuclear Almaraz I (años 2002 y 2003, respectivamente). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 28] CSN/IEV/APRT/AL2/PEP/0410/203. Evaluación del informe final de la decimocuarta parada de recarga de la unidad II de la central nuclear de Almaraz (año 2003). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 29] CSN/IEV/APRT/AL2/PEP/0603/575. Evaluación del informe final de la decimoquinta parada de recarga de la unidad II de la central nuclear de Almaraz (año 2004). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 30] CSN/IEV/APRT/AL1/PEP/0611/589. Evaluación del informe final de la decimoséptima parada de recarga de la unidad I de la central nuclear de Almaraz (año 2005). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 31] CSN/IEV/APRT/AL1/0802/607. Evaluación del informe final de la decimoctava parada de recarga de la central nuclear Almaraz I (año 2006). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 32] CSN/IEV/APRT/AL2/PEP/0708/599. Evaluación del informe final de la decimosexta parada de recarga de la unidad II de la central nuclear de Almaraz (año 2006). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 33] CSN/IEV/APRT/AS1/PEP/0010/59. Evaluación del informe final de la decimocuarta parada de recarga de la central nuclear Ascó I. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 34] CSN/IEV/APRT/AS1/PEP/0203/138. Evaluación del informe final de la decimoquinta parada de recarga de la central nuclear Ascó I (año 2001). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 35] CSN/IEV/APRT/AS1/PEP/0312/196. Evaluación del informe final de la decimosexta parada de recarga de la central nuclear Ascó I. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 36] CSN/IEV/APRT/AS1/PEP/0604/415. Evaluación del informe final de la decimoséptima parada de recarga de la central nuclear Ascó I (año 2004).

Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 37] CSN/IEV/APRT/AS1/0709/449. Evaluación del informe final de la decimoctava parada de recarga de la unidad I de la central nuclear de Ascó (año 2006). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 38] CSN/IEV/APRT/AS2/PEP/0101/102. Evaluación del informe final de la decimotercera parada de recarga de la central nuclear Ascó II. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 39] CSN/IEV/APRT/AS2/PEP/0302/171. Evaluación del informe final de la decimocuarta parada de recarga de la central nuclear Ascó II. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 40] CSN/IEV/APRT/AS2/PEP/0509/229. Evaluación del informe final de la decimoquinta parada de recarga de la central nuclear Ascó II (año 2004). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 41] CSN/IEV/APRT/AS2/0703/437. Evaluación del informe final de la decimosexta parada de recarga de la central nuclear Ascó II (año 2005). Aspectos

relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 42] ANA/DST-L-CSN-1666. Central nuclear de Ascó. Informe de resultados dosimétricos y análisis de tendencias (año 2007).

[Ref. 43] CSN/IEV/APRT/VA2/PEP/0206/156. Evaluación del informe final de la undécima parada de recarga del 2000 en la central nuclear Vandellós II. Aspectos de la protección radiológica operacional.

[Ref. 44] CSN/IEV/APRT/VA2/0704/412. Evaluación del informe final de la decimosegunda, decimotercera y decimocuarta paradas de recarga de la central nuclear Vandellós II (años 2002, 2003 y 2005). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 45] CNV-L-CSN-4815. Central nuclear Vandellos II: informe de resultados dosimétricos y análisis de tendencias. Período 2003-2007.

[Ref. 46] CSN/IEV/APRT/ TRI/PEP/0210/185. Evaluación del informe final de la decimotercera parada de recarga de la central nuclear de Trillo (año 2001). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

- [Ref. 47] CSN/IEV/APRT/TRI/PEP/0302/198. Evaluación del informe final de la decimocuarta parada de recarga de la central nuclear de Trillo (año 2002). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 48] CSN/IEV/APRT/ TRI/PEP/0312/212. Evaluación del informe final de la decimoquinta parada de recarga de la central nuclear de Trillo (año 2003). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 49] CSN/IEV/APRT/ TRI/PEP/0608/534. Evaluación del informe final de la decimosexta y decimoséptima parada de recarga de la central nuclear de Trillo (años 2004 y 2005). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 50] CSN/IEV/APRT/TRI/0705/543. Evaluación del informe final de la decimoctava parada de recarga de la central nuclear de Trillo (año 2006). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 51] CSN/IEV/APRT/SMG/0808/653. Evaluación del informe final de la parada de recarga de 2007 de la central nuclear de Santa María de Garoña. Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 52] CSN/IEV/APRT/COF/0907/941. Evaluación del informe final de la decimosexta parada de recarga de la central nuclear de Cofrentes (año 2007). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 53] CSN/IEV/APRT/AL2/0904/679. Evaluación del informe final de la decimoséptima parada de recarga de la central nuclear Almaraz II (año 2007). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 54] Evaluación del informe final de la decimonovena parada de recarga de la unidad I de la central nuclear de Ascó (año 2007). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 55] CSN/IEV/APRT/AS2/0808/494. Evaluación del informe final de la decimoséptima parada de recarga de la central nuclear Ascó II (año 2007). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.
- [Ref. 56] CSN/IEV/APRT/TRI/0804/556. Evaluación del informe final de la decimonovena parada de recarga de la

central de Trillo (año 2007). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 57] Evaluación del informe final de la decimoctava parada de recarga de la central nuclear Ascó II (año 2008). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 58] Evaluación del informe final de la vigésima parada de recarga de la central nuclear de Trillo (año 2008). Aspectos relacionados con la protección radiológica operacional.

[Ref. 59] Análisis histórico de dosis colectivas en la central nuclear de Cofrentes. CSN/IEV/APRT/COF/0910/949.

Anexo I. El Programa ISOE

1. Introducción y antecedentes

En 1992, la Agencia de la Energía Nuclear (NEA) de la OCDE creó, tras dos años de programa piloto, el Sistema de Información de Exposiciones Ocupacionales (ISOE) como una red de comunicaciones entre participantes tanto de los explotadores de centrales nucleares (públicas y privadas) como de las autoridades reguladoras nacionales, a la vez que como un programa para adquisición, análisis y divulgación de los datos de exposición ocupacional. Desde 1993 el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) patrocina el programa ISOE permitiendo la participación de centrales y autoridades reguladoras de los países no miembros de la OCDE/NEA, habiéndose creado un Secretariado conjunto NEA/OIEA.

El objetivo del Programa ISOE es el facilitar a los participantes, por una parte, información amplia y actualizada sobre los métodos para mejorar la protección de los trabajadores y sobre la exposición ocupacional en las centrales nucleares y, por otra parte, un mecanismo para la difusión de la información sobre estos temas, incluyendo la evaluación y el análisis de los datos disponibles como una contribución al desarrollo del principio de optimización.

El Programa ISOE incluye la mayor base de datos de exposición ocupacional y una red para el intercambio de experiencias, informa-

ción y lecciones aprendidas entre expertos de centrales y reguladores, constituyendo el marco para promocionar y coordinar internacionalmente a todas las organizaciones que cooperan en materia de protección de los trabajadores de centrales nucleares. El Programa ISOE proporciona datos a la Comisión Europea y a UNSCEAR.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha participado activamente en el ISOE desde sus orígenes en 1991 para impulsar la difusión del criterio Alara en el sector nuclear español. Se encuadra, por lo tanto, esta participación dentro del marco de actuación del CSN y sus planes estratégicos en protección radiológica para la optimización de la exposición ocupacional, formando parte de varios de sus comités. En la actualidad está representado en el Comité de Dirección (Steering Committee) y en el Grupo de Trabajo sobre Análisis de datos (Working Group on Data Analysis).

2. La base de datos de ISOE

La base de datos de ISOE, constituye la más amplia base de datos de exposiciones ocupacionales del mundo. Está dividida en cuatro partes que incluyen la siguiente información.

ISOEDAT: además de la información general sobre las centrales nucleares en operación, incluye para cada unidad participante:

- Información dosimétrica (antiguo ISOE 1).
 - Dosis colectiva anual para operación normal.
 - Período de parada para mantenimiento o recarga.
 - Períodos de parada no programada.
 - Dosis colectiva anual por trabajos y categorías profesionales.
- Información específica de la planta con influencia sobre la reducción de dosis tal como materiales, química del agua, procedimientos de arranque y parada, programa de reducción de cobalto, etc. (antiguo ISOE 2).

ISOE 3: información de protección radiológica relativa a operaciones específicas, trabajos concretos, procedimientos, equipos, tareas.

- Eficacia en la reducción de dosis.
- Eficacia de técnicas de descontaminación.
- Principios aplicados en la gestión de los trabajos.

ISOE D: Información dosimétrica de centrales nucleares que estén en proceso de desmantelamiento.

Toda la información incluida es suministrada por las plantas que tienen acceso completo a todos los datos. Las autoridades reguladoras

no tienen de momento acceso a los datos contenidos en ISOE 3. Tanto las autoridades como los explotadores de centrales se benefician de la red de comunicaciones así como de los análisis de datos y de los informes generados. Estas bases de datos constituyen la base para la realización de los distintos tipos de análisis de datos y estudios de tendencias de las dosis operacionales.

Un hito importante asociado a la base de datos ISOE ha sido su acceso a través de la red ISOE-network, que ha permitido además de un acceso más amplio, una actualización rutinaria a medida que se recogen los datos.

3. Otros productos ISOE

Si bien el programa ISOE es principalmente conocido por su colección de experiencia sobre gestión de dosis ocupacionales, información, datos y análisis, la fortaleza del sistema procede del amplio intercambio de dicha información entre sus participantes. Con este objetivo, el programa ha desarrollado otros productos entre los cuales se encuentran:

ISOE-Network

Aprovechando las nuevas tecnologías se creó la web ISOE Network con el fin de proporcionar un sistema rápido de intercambio de información relacionada con la protección radiológica

ocupacional. Se accede a través del portal www.iso.network.net que contiene información de acceso público y de acceso restringido. Para acceder a esta última debe solicitarse una contraseña al Secretariado Técnico de la NEA. Cabe destacar entre otros productos disponibles del sitio el acceso on-line a la base de datos ISOEDAT.

Informes anuales

Uno de los aspectos más importantes del Programa ISOE es el análisis de datos y la tendencia de las exposiciones ocupacionales anuales. Los resultados de estos análisis se publican en los informes anuales ISOE, que incluyen además un resumen de los principales logros del año y del programa para el año siguiente.

Hojas informativas

Además de los informes anuales, los centros técnicos ISOE realizan varios análisis de datos, investigación de datos e intercambio de experiencias que se publican como hojas de información (Information Sheets) o como análisis especiales (Special Analysis).

Congresos internacionales ISOE

Los objetivos de estos congresos son: proporcionar un foro para el intercambio de información sobre la experiencia práctica en cuestiones de exposición ocupacional para

profesionales de la protección radiológica pertenecientes tanto a autoridades reguladoras como a los explotadores de centrales nucleares; comunicar la experiencia en la implantación Alara y la gestión de la exposición ocupacional, compartir lecciones aprendidas y, desde 2004, la celebración de *topical sessions* para explotadores y reguladores. Estos congresos cuentan con una amplia participación internacional que pone de manifiesto el interés que los temas abordados despierta. Dichos congresos se han convertido en parte de la formación anual del personal de APRT.

ISOE news

Esta publicación incluye noticias breves, artículos cortos e información reciente de los coordinadores nacionales y centros técnicos, con el objetivo de mantener a sus miembros informados de los temas de interés entre la comunidad ISOE. Está dirigida tanto a los profesionales de protección radiológica en centrales como de autoridades reguladoras, y se distribuye a los miembros de ISOE por los centros técnicos a través de e-mail.

Encuestas de los centros técnicos

La red de comunicaciones de ISOE proporciona la posibilidad de realizar un intercambio de experiencias e información en tiempo real entre los participantes, tanto autoridades como explotadores de centrales. Esta red consiste en el conjunto de los participantes junto

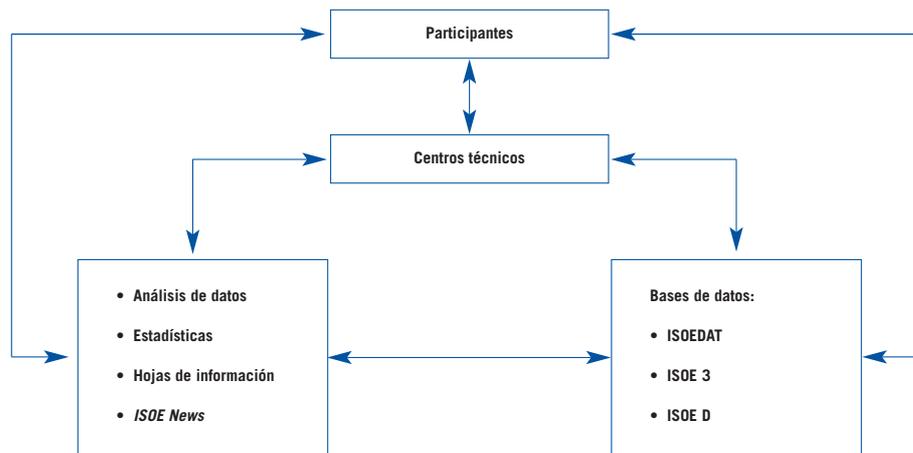
con los cuatro centros técnicos. Cualquier participante (sea explotador o autoridad reguladora) puede solicitar información sobre un problema particular, técnica o procedimiento, etc. El centro técnico correspondiente es el encargado de realizar una encuesta a todos los participantes a través de los otros centros técnicos, recoger y resumir la información deseada, aportar la información a quién le solicitó y, si se considera apropiado, preparar una hoja de información ISOE para distribución a todos los demás participantes

Visitas de *benchmarking*

También los Centros Técnicos organizan visitas para la realización de *benchmarking* e intercambio de información sobre prácticas de reducción de dosis entre instalaciones de distintas regiones ISOE.

Todo este flujo de información que permite obtener los diferentes productos ISOE se muestra de manera gráfica en el siguiente diagrama:

Gráfica I.1. Flujo de información del Programa ISOE



4. Datos e información empleados

Tal y como se ha avanzado, los datos de este informe han sido tomados, fundamentalmente, de la base de datos del ISOE, ISOEDAT y de los informes anuales del ISOE desde el año 2000 a 2008 ISOE (refs. 5 a 11). Como novedad en la elaboración de este informe, se han utilizado los datos inte-

grados en la base de datos *on-line* del ISOE en lugar de utilizar el tradicional formato en CD-ROM que continúa suministrándose a principios de año por el Centro Técnico Europeo con acceso restringido para el CSN.

Desde 2005, fecha en la que finalizó la fase 1 de desarrollo para la migración de la base de datos a la web ISOE Network, se encuentran

disponibles y actualizados continuamente los datos de dosis ocupacionales. A dicha base de datos se puede acceder *on-line*, mediante contraseña proporcionada por el Secretariado Técnico de la NEA, a través del sitio www.isoe.network.net donde adicionalmente se han incorporado además herramientas pre-definidas para el análisis y consulta de datos. Al igual que ocurría con el formato en CD-ROM, la posibilidad de acceder a los datos varía según el usuario sea un regulador o miembro de una central.

Para la información relativa a los detalles de las diferentes centrales nucleares españolas sobre las exposiciones colectivas, se han consultado asimismo los informes de evaluación que el Área de Protección Radiológica de los Trabajadores (APRT) realiza sobre los resultados radiológicos de cada recarga y los capítulos correspondientes a parámetros radiológicos de los informes finales de recarga que reglamentariamente presentan todas las centrales una vez finalizadas las paradas de recargas. También se han utilizado los informes dosimétricos anuales y de análisis de tendencias de las centrales así como los informes anuales del ISOE y alguna *Information Sheet*.

Los datos de dosis colectiva de la base del ISOE incluyen únicamente exposición externa.

A lo largo del presente informe se ha seguido el siguiente criterio para la fuente de obtención de información:

Magnitud	Fuente de información
Dosis colectivas operacionales	Informes de recarga del APRT
Dosis colectivas anuales	Base de datos de ISOE

4.1. Comparativa Banco Dosimétrico Nacional-Base ISOEDAT

Los datos de exposiciones ocupacionales utilizados en el presente informe son los de la base de datos ISOEDAT. Se ha mencionado que dichos datos se encuentran disponibles asimismo en las bases de datos internas del APRT del CSN y en el Banco Dosimétrico Nacional (BDN) y se han expuesto los motivos de la elección.

El resultado de contrastar los datos de dosis colectiva anual en las centrales españolas disponibles en el BDN y los datos disponibles en ISOE para los grupos de centrales agrupadas según el tipo de reactor es el que se muestra en la tabla I.1:

Como puede observarse, las diferencias entre ambas fuentes no son significativas y varían según el año, siendo la media de las desviaciones del 1% para ambos tipo de reactores.

Debe comentarse que estas pequeñas desviaciones actuales han sido fruto de un trabajo conjunto de unificación de criterios de envío de datos entre el CSN y el coordinador nacional español en ISOE.

Tabla I.1. Comparación entre las dosis en el BDN y en ISOE

Año	España PWR			España BWR		
	ISOE	BDN	Diferencia %	ISOE	BDN	Diferencia %
1990	2,22	2,18	-2	5,10	5,10	0
1991	1,87	1,80	-4	3,42	3,42	0
1992	2,02	2,05	1	4,07	4,03	-1
1993	1,37	1,37	0	2,79	2,84	2
1994	1,82	1,83	0	3,94	3,94	0
1995	2,12	2,13	1	0,52	0,52	0
1996	1,47	1,47	0	3,36	3,41	2
1997	1,35	1,35	0	2,39	2,40	1
1998	0,54	0,55	2	0,58	0,53	-8
1999	0,71	0,70	-1	2,45	2,47	1
2000	0,59	0,59	0	1,52	1,47	-3
2001	0,43	0,40	-7	0,93	0,88	-6
2002	0,50	0,49	-1	1,52	1,52	0
2003	0,43	0,43	0	2,22	2,16	-3
2004	0,31	0,31	-1	0,46	0,46	1
2005	0,42	0,38	-8	2,32	2,32	0
2006	0,38	0,38	-1	0,41	0,41	0

* Datos disponibles hasta 2006.

Tabla I.2. Desviación entre las dosis en el BDN y en ISOE (% desviación BDN-ISOE)

Año	Garaña	Cofrentes	Ascó (I y II)	Almaraz (I y II)	Vandellós II	Trillo	José Cabrera
2000	-31,2						
2001	-8,7			-15,6		-5,0	
2002			7,0	-2,4		-20,4	-1,2
2003	-9,0			1,3	-1,2	-6,9	
2004				1,4		-10,2	
2005				-2,8		-96,3	
2006				-2,8	-5,9		6,2

Sin embargo, cuando se realiza el análisis individual por planta, se encuentran los datos de la tabla I.2:

En el informe de referencia CSN/IEV/APRT/GENER/0000/0805/636 se han analizado las posibles fuentes de discrepancia, presen-

tando las actuaciones del CSN llevadas a cabo para alcanzar una coherencia entre ambas bases de datos y se han presentado propuestas de actuación con el fin de evitar estas discrepancias en el futuro.

En la mayoría de los casos, las discrepancias eran debidas, bien a errores en la introducción de los datos, bien a diferencias de criterio a la hora de introducir la dosis operacional u oficial en los diferentes apartados (dosis anual, dosis de recarga y dosis en operación normal).

Tras evaluar la situación, se ha decidido usar, para los datos de dosis anuales considerados en el presente informe durante el período los que aparecen en el anexo II que son los que constan en la base de datos del ISOE.

No obstante la práctica equivalencia entre los datos de ambas fuentes, la base ISOEDAT, contiene mucha otra información, que puede crear incertidumbres ocultas a la hora de comparar datos. Así por ejemplo, los criterios utilizados para introducir las dosis anuales difieren según países: en algunos casos son dosis operacionales y en otros dosis oficiales.

Por otro lado, los niveles de registro y los sistemas dosimétricos utilizados en los diferentes países e incluso plantas son diferentes. Otros ejemplos de información heterogénea son: la fecha de los primeros datos disponibles se refiere unas veces a la criticidad inicial y otros al inicio de la operación comercial; el período anual de los datos esté tomado con diferente criterio bien por año natural o bien por el fiscal; los datos se hayan uniformizado por emplazamiento cuando en éste coexisten varios reactores, etc.

5. Participación en el ISOE

La participación en el programa ISOE incluye representantes de instalaciones eléctricas nucleares, autoridades reguladoras y los centros técnicos que han aceptado participar en la operación del programa bajo sus “Términos y condiciones” (*Terms and conditions*). A finales de 2008, el Programa ISOE incluía los siguientes valores relativos a instalaciones, países, reactores participantes, reactores no participantes pero incluidos en la base de datos y unidades en operación y en estado de parada:

Tabla I.3. Reactores en operación participantes y no participantes pero incluidos en ISOE

País	Reactores en operación participantes en ISOE					Total
	PWR ¹	BWR	PHWR	GCR	LWGR	
Alemania	11	6	–	–	–	17
Armenia	1	–	–	–	–	1
Bélgica	7	–	–	–	–	7

1. Incluye VVER.

Tabla I.3. Reactores en operación participantes y no participantes pero incluidos en ISOE (continuación)

País	PWR ¹	BWR	PHWR	GCR	LWGR	Total
Brasil	2	–	–	–	–	2
Bulgaria	2	–	–	–	–	2
Canadá	–	–	21	–	–	21
China	4	–	–	–	–	4
Corea, República de	16	–	4	–	–	20
Eslovaquia	6	–	–	–	–	6
Eslovenia	1	–	–	–	–	1
España	6	2	–	–	–	8
Estados Unidos	14	9	–	–	–	23
Federación Rusa	15	–	–	–	–	15
Finlandia	2	2	–	–	–	4
Francia	58	–	–	–	–	58
Holanda	1	–	–	–	–	1
Hungría	4	–	–	–	–	4
Japón	24	32	–	–	–	56
México	–	2	–	–	–	2
Reino Unido	1	–	–	–	–	1
República Checa	6	–	–	–	–	6
Rumanía	–	–	2	–	–	2
Sudáfrica	2	–	–	–	–	2
Suecia	3	7	–	–	–	10
Suiza	3	2	–	–	–	5
Total	189	62	27	–	–	278
Reactores en operación no participantes en ISOE pero incluidos en la base de datos ISOE						
Canadá	–	–	1	–	–	1
China	1	–	–	–	–	1
Estados Unidos	55	26	–	–	–	81
Lituania	–	–	–	–	1	1
Pakistán	1	–	1	–	–	2
Reino Unido	–	–	–	18	–	18
Ucrania	15	–	–	–	–	15
Total	72	26	2	18	1	119
Número total de reactores incluidos en la base de datos ISOE						
Total	261	88	29	18	1	397

1. Incluye VVER.

Tabla I.4. Reactores en parada definitiva participantes y no participantes pero incluidos en ISOE

País	PWR ¹	BWR	PHWR	GCR	LWGR	Otros	Total
Reactores en parada definitiva participantes en ISOE							
Alemania	3	1	–	1	–	–	5
Bulgaria	4	–	–	–	–	–	4
Canadá	–	–	2	–	–	–	2
España	1	–	–	1	–	–	2
Estados Unidos	–	–	–	1	–	–	1
Federación Rusa	2	–	–	–	–	–	2
Francia	1	–	–	6	–	–	7
Holanda	–	1	–	–	–	–	1
Italia	1	2	–	1	–	–	4
Japón	–	–	–	1	–	1	2
Suecia	–	2	–	–	–	–	2
Total	12	6	2	11	–	1	32
Reactores en parada definitiva no participantes en ISOE pero incluidos en la base de datos ISOE							
Estados Unidos	10	6	–	1	–	–	17
Lituania	–	–	–	–	1	–	1
Reino Unido	–	–	–	22	–	–	22
Ucrania	–	–	–	–	3	–	3
Total	10	6	–	23	4	–	43
Número total de reactores en parada definitiva incluidos en la base de datos ISOE							
Total	22	12	2	34	4	1	75

Tabla I.5. Resumen de participación en ISOE (a fecha de diciembre de 2008)

País	PWR ¹	BWR	PHWR	GCR	LWGR	Otros	Total
Número total de reactores incluidos en la base de datos ISOE							
Total	283	100	31	52	5	1	472
Número de instalaciones participantes oficialmente						59	
Número de países participantes oficialmente						26	
Número de autoridades reguladoras participantes oficialmente						25	

1. Incluye VVER.

6. Grupos de centrales similares.

“Plantas hermanas”

A la hora de realizar estudios comparativos tipo *benchmarking*, es importante disponer de plantas de referencia adecuadas para comparar el comportamiento de una determinada central. La eficacia de la comparación mejora si en vez de efectuarse con todo el parque nuclear o con todas las centrales de un mismo tipo, se realiza tomando como referencia plantas de similares características. En este contexto, el Sistema ISOE introdujo el concepto de “plantas hermanas” (*Sister Plants*) con el fin de agrupar a las centrales de similares características. Bajo el criterio de ISOE, un grupo de unidades hermanas se constituye con el criterio triple de:

- Mismo constructor.
- Mismo número de lazos.
- Misma generación.

En base a este criterio, el conjunto de centrales participantes en ISOE se encuentran agrupadas en 76 grupos de plantas hermanas, que se identifican por unas siglas: el primer carácter corresponde al constructor (B=Babcock & Wilcox, N= CNNC, W= Westinghouse, M= Mitsubishi, F= Framatome, C= Combustion Engineering, S= Siemens, ...), el segundo al número de lazos (si aplica), y el tercero a la generación de la unidad. El grupo O00 contiene los reactores más antiguos diseñados por un constructor, por lo que no son comparables con ningunos otros y a duras penas entre sí. La siguiente tabla muestra el conjunto de los 76 grupos, según el tipo de reactor, grupo de centrales hermanas, nombre del grupo y número de reactores en cada grupo.

Tabla I.6. Grupos de plantas hermanas en ISOE (diciembre 2007)

Tipo	Grupo	Número de unidades en cada grupo de unidades hermanas	
		Nombre del grupo de hermanas	Número
AGR 14	GCR2	AGR (Advanced gas-cooled) reactors - GCR 2 nd generation	14
	ABB0	Generation 0 from ABB Atom	1
BWR 105	ABB1	Generation 1 from ABB Atom	1
	ABB2	Generation 2 from ABB Atom	3
	ABB3	Generation 3 from ABB Atom	4
	ABB4	Generation 4 from ABB Atom	2
	ABWR	Advanced BWR from GE - Toshiba - Hitachi	4
	GE0	Generation 0 from General Electric	8
	GE1	Generation 1 from General Electric	3
	GE2	Generation 2 from General Electric	9
	GE3	Generation 3 from General Electric	23
	GE4	Generation 4 from General Electric	8

Tabla I.6. Grupos de plantas hermanas en ISOE (diciembre 2007) (continuación)

Número de unidades en cada grupo de unidades hermanas			
Tipo	Grupo	Nombre del grupo de hermanas	Número
BWR 105	GE5	Generation 5 from General Electric	6
	O00	Oldest reactors designed by a constructor	2
	S00	Generation 0 from Siemens KWU	2
	S69	Generation 1 from Siemens KWU	4
	S72	Generation 2 from Siemens KWU	2
	TOS1	Generation 1 from Toshiba - Hitachi	7
	TOS2	Generation 2 from Toshiba - Hitachi	16
FBR 1	BN600	BN-600 sodium-cooled fast-breeder reactor (FBR)	1
HTGR 4	O00	Oldest reactors designed by a constructor	4
LWCHWR 2	O00	Oldest reactors designed by a constructor	2
LWGR 22	EGP-6	LWGR - EGP-6	4
	R1-10	RBMK 1000 - 1 st generation	6
	R2-10	RBMK 1000 - 2 nd generation	8
	R2-15	RBMK 1500 - 2 nd generation	2
	R3-10	RBMK 1000 - 3 rd generation	2
MAGNOX 35	GCR1	Magnox + UNGG reactors - GCR 1 st generation	35
PHWR 39	AECL0	Generation 0 from AECL	6
	AECL1	Generation 1 from AECL	1
	AECL2	Generation 2 from AECL	8
	AECL3	Generation 3 from AECL	11
	AECL4	Generation 4 from AECL	8
	AECL5	Generation 5 from AECL	4
	O00	Oldest reactors designed by a constructor	1
PWR 222	B21	2 Loops reactors from the 1 st generation of Babcock & Wilcox	9
	B22	2 Loops reactors from the 2 nd generation of Babcock & Wilcox	1
	C21	2 Loops reactors from the 1 st generation of Combustion Engineering	9
	C22	2 Loops reactors from the 2 nd generation of Combustion Engineering	9
	EPR	European pressurised water reactor - AREVA/SIEMENS	1
	F31	3 Loops reactors from the 1 st generation of Framatome	6
	F32	3 Loops reactors from the 2 nd generation of Framatome	34
	F42	4 Loops reactors from the 2 nd generation of Framatome	20
	F43	4 Loops reactors from the 3 rd generation of Framatome	4
	M21	2 Loops reactors from the 1 st generation of Mitsubishi	3
	M22	2 Loops reactors from the 2 nd generation of Mitsubishi	4
	M31	3 Loops reactors from the 1 st generation of Mitsubishi	2

Tabla I.6. Grupos de plantas hermanas en ISOE (diciembre 2007) (continuación)

Número de unidades en cada grupo de unidades hermanas			
Tipo	Grupo	Nombre del grupo de hermanas	Número
PWR 222	M32	3 Loops reactors from the 2 nd generation of Mitsubishi	6
	M41	4 Loops reactors from the 1 st generation of Mitsubishi	1
	M42	4 Loops reactors from the 2 nd generation of Mitsubishi	4
	N21	2 Loops reactors from the 1 st generation of CNNC	1
	O00	Oldest reactors designed by a constructor	11
	S21	2 Loops reactors from the 1 st generation of Siemens	2
	S32	3 Loops reactors from the 2 nd generation of Siemens (Pre-Konvoi)	3
	S41	4 Loops reactors from the 1 st generation of Siemens	3
	S42	4 Loops reactors from the 2 nd generation of Siemens (Pre-Konvoi)	5
	S43	4 Loops reactors from the 3 rd generation of Siemens (Konvoi)	3
	W21	2 Loops reactors from the 1 st generation of Westinghouse	8
	W22	2 Loops reactors from the 2 nd generation of Westinghouse	7
	W31	3 Loops reactors from the 1 st generation of Westinghouse	13
	W32	3 Loops reactors from the 2 nd generation of Westinghouse	15
	W41	4 Loops reactors from the 1 st generation of Westinghouse	20
	W42	4 Loops reactors from the 2 nd generation of Westinghouse	15
	X31	3 Loops reactors from the 1 st generation	1
	X32	3 Loops reactors from the 2 nd generation	2
VVER 70	V1	VVER 210 - Model V1	1
	V179	VVER 440 - Model V179 (1 st Soviet-design generation of VVER)	2
	V187	VVER 1000 - Model V187 (3 rd Soviet-design generation of VVER)	1
	V2	VVER 70 - Model V2	1
	V213	VVER 440 - Model V213 (2 nd Soviet-design generation of VVER)	17
	V230	VVER 440 - Model V230 (1 st Soviet-design generation of VVER)	14
	V270	VVER 440 - Model V270 (1 st Soviet-design generation of VVER)	1
	V302	VVER 1000 - Model V302 (3 rd Soviet-design generation of VVER)	2
	V311	VVER 440 - Model V311 (2 nd Soviet-design generation of VVER)	2
	V320	VVER 1000 - Model V320 (3 rd Soviet-design generation of VVER)	26
	V338	VVER 1000 - Model V338 (3 rd Soviet-design generation of VVER)	2
V3M	VVER 365 - Model V3M	1	

Como puede apreciarse, el mayor número de centrales corresponde al tipo PWR, seguido del tipo BWR y el tipo de centrales de diseño soviético VVER. Los tipos PWR y BWR son en los que se encuadran el conjunto de centrales españolas en operación.

Entre los dos grupos representan el 63% de reactores en operación.

6.1. Centrales comparables a las españolas

De acuerdo a la clasificación del ISOE las centrales españolas se integran en cinco de

los 76 grupos de hermanas gemelas: tres grupos para las centrales PWR y dos grupos para las centrales tipo BWR.

La siguiente tabla presenta la lista de centrales hermanas para cada una de las centrales españolas, incluyendo el grupo al que pertenecen y el país de la central:

Tipo	Central	Grupo
PWR	José Cabrera	O00
	Almaraz I y II, Ascó I y II y Vandellós II	W32
	Trillo	S32
BWR	Santa María de Garoña	GE 2
	Cofrentes	GE 5

Tabla I.7. Grupos de centrales comparables a las centrales españolas

Grupo de hermanas	País	Planta
Lista de reactores por grupo de centrales hermanas del tipo BWR		
GE 2	Japón	Fukushima Daiichi 1
	España	Santa María de Garoña 1
	Estados Unidos	Dresden 2
		Dresden 3
		Millstone 1
		Monticello 1
		Pilgrim 1
		Quad Cities 1
		Quad Cities 2
	Número total de reactores pertenecientes al grupo GE2:		9
GE 5	España	Cofrentes 1
	Suiza	Leibstadt (KKL) 1
	Estados Unidos	Clinton 1
		Grand Gulf 1
		Perry 1
		River Bend 1
Número total de reactores pertenecientes al grupo GE5:		6
Lista de reactores por grupo de centrales hermanas del tipo PWR		
O00	Francia	Chooz A1
	Alemania	Stade 1
	Italia	Trino Vercellese 1
	España	José Cabrera 1
	Estados Unidos	Fort Calhoun 1
		Haddam Neck 1
		Indian Point 1
		Maine Yankee 1
		Palisades 1
		San Onofre 1
		Yankee Rowe 1
Número total de reactores pertenecientes al grupo O00:		11

Tabla I.7. Grupos de centrales comparables a las centrales españolas (continuación)

Grupo de hermanas	País	Planta
Lista de reactores por grupo de centrales hermanas del tipo PWR		
S32	Alemania	Neckar 1
	España	Trillo 1
	Suiza	Gösgen (KKG) 1
	Número total de reactores pertenecientes al grupo S32:		3
W32	Bélgica	Doel 4
		Tihange 3
	República de Corea	Kori 3
		Kori 4
		Yonggwang 1
		Yonggwang 2
	España	Almaraz I
		Almaraz II
		Ascó I
		Ascó II
	Suecia	Vandellós II
		Ringhals 3
Estados Unidos	Ringhals 4	
	Harris 1	
	Summer 1	
Número total de reactores pertenecientes al grupo W32:		15

Anexo II. Exposición ocupacional en el ámbito ISOE

En los siguientes apartados se hará un estudio de las dosis ocupacionales desde diferentes puntos de vista ya que se tratarán por regiones y por tipo de reactor bajo diferentes enfoques.

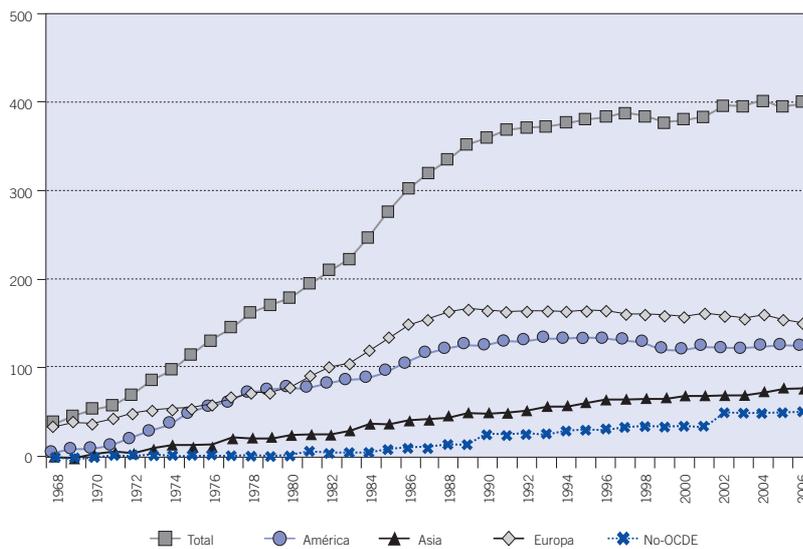
1. Evolución de la población de reactores

En el anexo I, se ha expuesto el número de reactores incluidos en la base de datos ISOE. Desde el comienzo de la era nuclear, la tasa de crecimiento del número de reactores ha

sido muy distinta a nivel mundial y por ende en las cuatro regiones del ISOE, tal y como se muestra en la siguiente gráfica (datos disponibles por regiones sólo hasta 2006).

En ella puede observarse cómo Europa y Norteamérica comenzaron su parque nuclear por delante de Asia. También se aprecia cómo en los últimos siete años, de 2000 a 2006, América muestra una tendencia estable en el número de reactores incluidos en ISOE. Asia sigue una tendencia creciente pasando de 67 reactores en el año 2000 a 75 en 2006.

Gráfica II.1. Número total de reactores en operación incluidos en el ISOE por región



De forma general, el número de reactores se fue incrementado de forma continua desde los años 60 hasta la década de los 90 para todo tipo de reactores, excepto para los reactores tipo CGR (Reactores Refrigerados por

Gas) que han ido disminuyendo progresivamente desde 1989.

En 2006, la media de todos los reactores se situó en 19,86 años, obviamente la edad

media por región y por tipo de reactor se corresponde con la evolución del número de reactores. Así los CGR son en promedio

mayores que los BWR, PWR, LWGR, y los CANDU y VVER, siendo éstos últimos los más jóvenes en promedio.

Tabla II.1. Características de los reactores en operación en 2006*

Tipo reactor	Regiones	Número reactores	Años experiencia operativa	Edad media por reactor
BWR	Norteamérica	37	991	26,78
	Asia	32	681	21,28
	Europa	19	512	26,95
	Todas regiones	88	2.184	25
CANDU	Norteamérica	18	393	21,83
	Asia	4	51	12,75
	No-OECD	2	20	10
	Todas regiones	24	464	14,86
GCR	Europa	22	644	29,27
	Todas regiones	22	644	29,27
LWGR	No-OECD	1	20	20
	Todas regiones	1	20	20
PWR	Norteamérica	69	1.771	25,67
	Asia	39	793	20,33
	Europa	91	2.058	22,62
	No-OECD	11	147	13,36
	Todas regiones	210	4.769	20,50
VVER	Europa	18	289	16,06
	No-OECD	35	389	11,11
	Todas regiones	53	678	13,58
Todos los tipos de reactores		398	8.759	19,86

* Datos disponibles hasta 2006 incluido.

2. Exposición ocupacional total y media por reactor en el ámbito ISOE

Desde un punto de vista histórico, como se puede apreciar en la gráfica II.2 la dosis colectiva total anual creció continuamente hasta 1983, año en el que se registró un valor de 928 Sv.p. Desde entonces la dosis

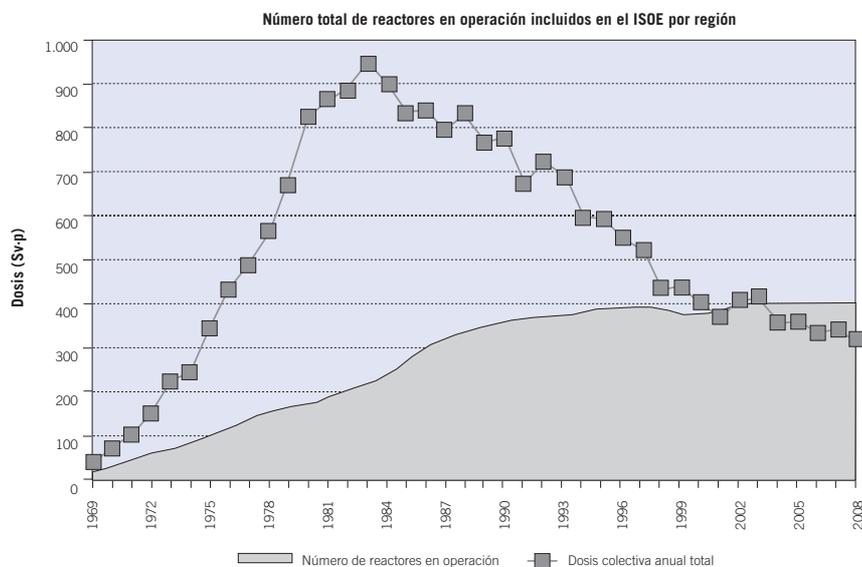
colectiva anual ha seguido una tendencia clara decreciente con algunos incrementos anuales puntuales, algunos de ellos durante el período que cubre el presente informe, y que se comentarán más adelante.

Esta forma de la curva puede explicarse mediante varios factores: en primer lugar,

durante el período 80-84 se realizaron en USA la mayor parte de las modificaciones de diseño para el “reajuste” de la seguridad (*backfitting*), tras el accidente de Three Miles Island (TMI), con el consiguiente aumento de la dosis por estos trabajos; en segundo lugar, los nuevos reactores que entraron en operación durante la segunda mitad de la década de los ochenta, pertenecía a la segunda genera-

ción e incorporaron de partida en su diseño estas mejoras en la seguridad. Por otro lado, a comienzos de los años noventa la aplicación de los criterios Alara influyó, y sigue influyendo de forma decisiva, en la reducción de la dosis, si bien, como es lógico, dicha disminución fue más acusada en los comienzos de los años 90 tendiendo a un decrecimiento más estable en la década de los 2000.

Gráfica II.2. Dosis colectiva total anual y número de reactores en operación en el ISOE



La presente década comenzó con la dosis colectiva total en 400 Sv·p, disminuyendo ligeramente al año siguiente a pesar de que el número de reactores bajó en seis. En los años 2002 y 2003 se superaron los 400 Sv·p (403 y 408 Sv·p) debido a que el número de reactores se elevó en 10 respecto a 2001. A partir de 2004 la tendencia es decreciente, situándose en 2008 en el valor más bajo de dosis colectiva acumulada para todo el parque ISOE (317 Sv·p). Otro aspecto a destacar de

este período es que el número de reactores alcanzó en 2002 la barrera de los 390. Se ha estabilizado en valores cercanos a los 397.

La dosis colectiva total acumulada, según los datos de ISOE, en el período 1969-2008 fue de 21.065 Sv·persona.

El resultado de los anteriores valores que influyen en la dosis media por reactor han hecho que la dosis media por reactor haya

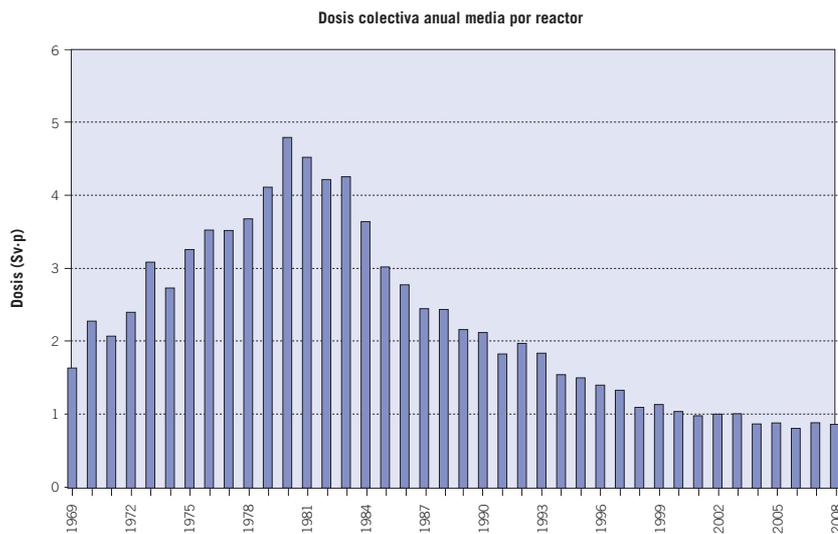
seguido una evolución similar a la de la dosis colectiva total. La tendencia es creciente hasta principios de los años 80, a partir de ahí siguió

una tendencia a la baja que tiende a estabilizarse, hasta alcanzar en 2006 el valor mínimo histórico del parque ISOE, 0,83 Sv/p.

Tabla II.2. Dosis colectiva total, número de reactores y dosis media por reactor en ISOE

Año	Sv·p	Número de reactores	Dosis por reactor Sv·p
2000	402	375	1,07
2001	367	381	0,96
2002	404	392	1,03
2003	410	394	1,04
2004	356	399	0,89
2005	357	396	0,90
2006	332	398	0,83
2007	339	395	0,91
2008	317	397	0,89

Gráfica II.3. Evolución de la dosis media por reactor en ISOE



El descenso de las dosis en estos últimos años (2000-2006) se puede atribuir, por un lado, a la cada vez mejor implantación de los principios Alara de gestión del trabajo, y, por otro, al efecto positivo de los trabajos de modifica-

ción realizados en la mayoría de las centrales en los años anteriores.

Los años 2007 y 2008 parecen indicar una estabilización entorno al valor de 0,9 Sv·p.

3. Exposición ocupacional por tipo de reactor

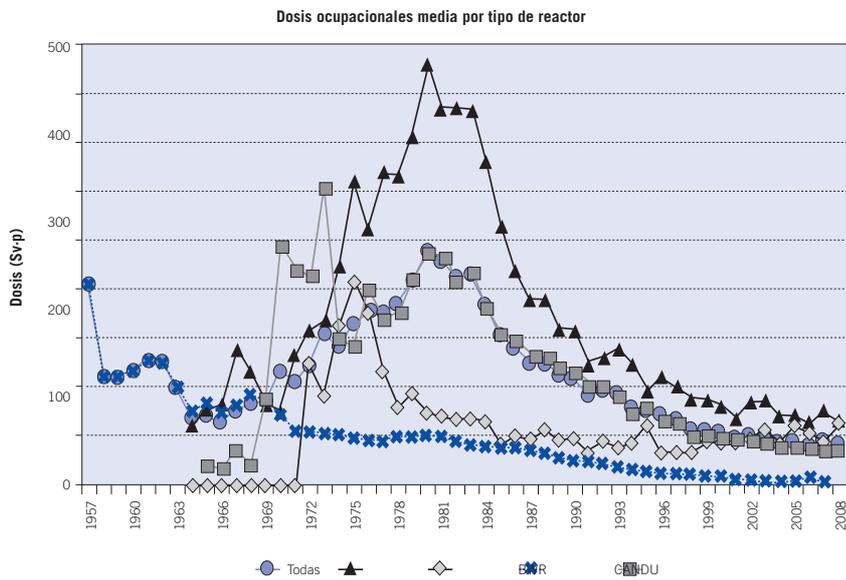
En general, la dosis media por tipo de reactor, ha disminuido de forma consistente durante el período 2000-2008, siguiendo la tendencia comenzada en las dos décadas anteriores (gráfica II.4).

Cuando se analiza dicha tendencia según el tipo de reactor se observa lo siguiente:

- La tendencia de los reactores PWR y BWR sigue un patrón similar, si bien las dosis medias para los reactores BWR siempre se sitúan por encima de las de los reactores PWR.
- La contribución de los reactores PWR y BWR al conjunto de reactores participantes en el ISOE es del 87%.

- Desde mediados de los años 70 para los BWR la dosis media por reactor ha venido siendo superior a la de los PWR, por un lado, consecuencia de los años de operación del parque, y, por otro, debido al diseño de la mayoría de estos reactores.
- Se puede apreciar el peso considerable de la dosis colectiva media de los PWR desde finales de los años 70 en adelante, que hacen que la media para todo tipo de reactores siga muy aproximadamente a la media de los reactores PWR.
- Los reactores tipo PHWR (CANDU) muestran una tendencia contraria a la del resto de reactores, siguiendo desde hace una década una tendencia alcista.
- En cuanto a los reactores GCR, siguen manteniendo sus dosis significativamente por debajo de las del resto.

Gráfica II.4. Evolución de la dosis media por reactor para diferentes tipos de reactores



El aumento de las dosis en 2003 de las centrales BWR se debió a aumentos generalizados en Europa (España aumentó sus dosis debido a las inesperadas altas de dosis en la decimocuarta recarga de Cofrentes) y Asia (principalmente en Japón), alcanzándose valores más altos que los de los últimos años.

Los reactores PWR se han mantenido desde el año 2000 por debajo de 1 Sv·p y desde entonces la tendencia decreciente les ha situado en 2007 en su valor mínimo histórico con una dosis de 0,71 Sv·p. Para este tipo de reactores no se muestran repuntes puntuales durante el período de estudio. La reducción observada en centrales PWR puede atribuirse a la implantación de los principios de gestión de los trabajos y a la reducción de la duración de las paradas.

Por su lado, los reactores tipo BWR partían en el año 2000 de una dosis media por reactor de 1,63 Sv·p, habiéndose reducido su dosis en un 25% desde entonces hasta alcanzar en 2006, su mínimo histórico en 1,27 Sv·p y terminando el período de análisis en 1,31 Sv·p. Para este tipo de reactores, el año 2001 mostró una reducción para la mayoría de los países, pudiéndose atribuir la misma al efecto positivo de las importantes modificaciones llevadas a cabo durante los años precedentes (por ejemplo, en Alemania, España y Suiza) así como al resultado de la gestión Alara y programas de gestión de los trabajos aplicados extensivamente

4. Exposición ocupacional global por regiones

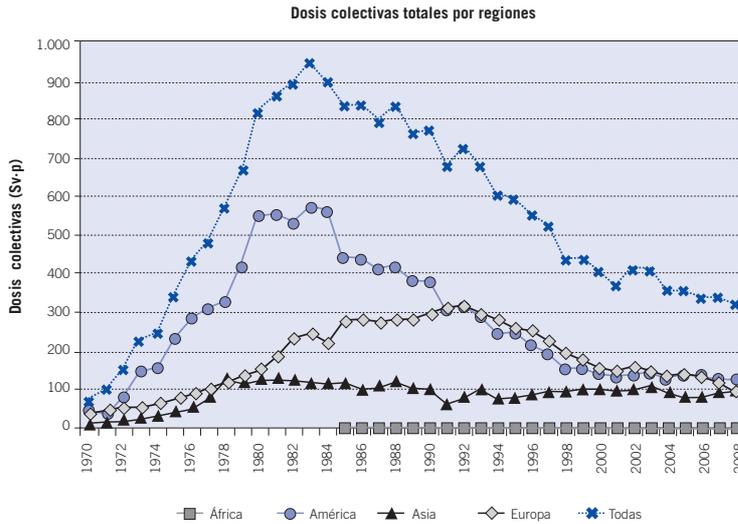
Cuando se analiza la exposición ocupacional por regiones se observa que la región que más contribuye al cómputo global anual es América, con aportaciones que varían según el año entre el 30% y el 65%. La segunda región que más contribuye es Europa, seguida de Asia. La forma de la curva para USA ya se ha explicado anteriormente.

Durante el período 2000-2008 la tendencia decreciente observada para América y Europa que comenzó en los años 80, se hace menos marcada tendiendo a patrones similares a los de Asia y América y acercándose a las dosis de Asia (prácticamente iguales a las Europeas para el período de estudio). Asia muestra una evolución bastante más estabilizada y tiende a la disminución; fluctúa en torno a los 100 Sv·p, teniendo en cuenta que el número de reactores ha ido creciendo paulatinamente.

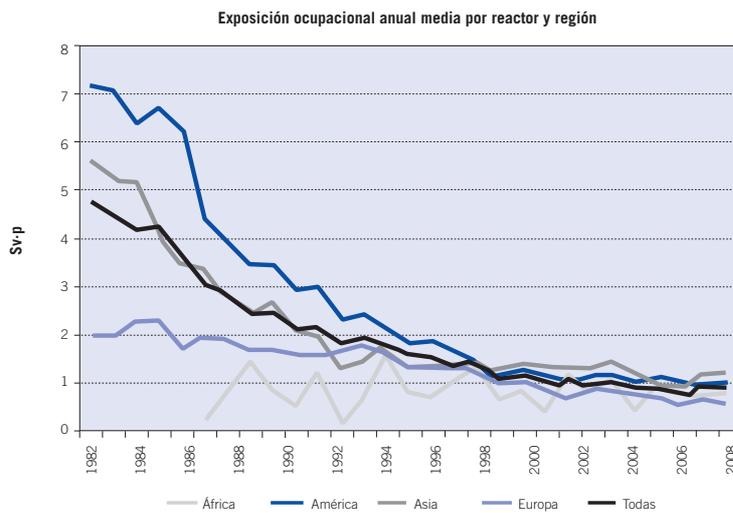
Para todas las regiones, se ha seguido guardando el orden de contribución de cada región a la dosis total. Todas las contribuciones se agrupan durante el período 2000-2008 en una franja de unos 100 Sv·p.

Cuando se analiza la dosis media por reactor se observa que en el período 2000-2008 los valores para todas las regiones se agrupan en torno a 1 Sv·p excepto para Europa que se sitúa ligeramente por debajo de este valor.

Gráfica II.5. Evolución de la exposición ocupacional anual por regiones



Gráfica II.6. Evolución de la exposición ocupacional anual media por reactor por regiones



Desde comienzos de los 80, Europa ostenta los mejores resultados, con excepción de dos años a principios de los 90 (1991 y 1992) en que Asia se situó ligeramente por debajo.

Hasta principios de los 90, Norteamérica ostentaba de forma notable las mayores dosis por reactor. Desde 1998 Asia toma el relevo.

Si nos centramos en las dosis en cada región para los dos tipos de reactores existentes en España, la evolución de la dosis media para cada tipo de reactor se muestra en la gráfica II.7 para los reactores PWR y en la gráfica II.8 para los reactores BWR.

Para los reactores PWR, durante el período 2000-2008, en las diferentes regiones se observa lo siguiente:

- Europa muestra una tendencia decreciente en este período.
- Similar tendencia decreciente es seguida por América.
- Asia muestra una tendencia estable fluctuando la dosis media en torno a los 0,9 Sv·p. En 2002 se produjo una reducción significativa de la dosis debida a la reducción en el número de días de parada para inspecciones periódicas y a la ausencia de grandes trabajos de modificación de diseño en las plantas japonesas.

En el caso de los reactores BWR, Europa ha venido mostrando las dosis más bajas por reactor, salvo años aislados a mediados de los 90 donde Asia se situó ligeramente por debajo. Hasta finales de los años 90 Norteamérica mostró las dosis por reactor más altas para reactores tipo BWR. En 1997 las tres regiones tuvieron prácticamente la misma dosis (~2 Sv·p). A partir de entonces, Amé-

rica y Asia se van alternando en ser la región con mayor dosis media por reactor.

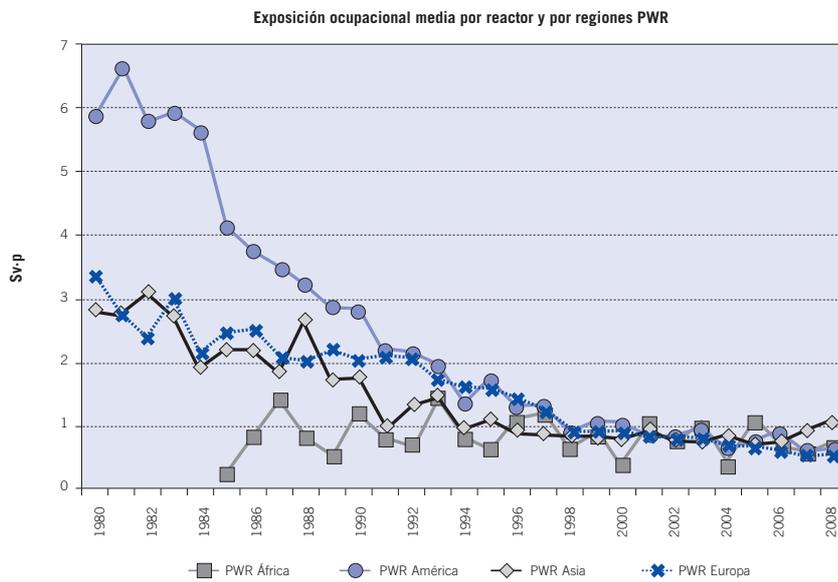
Durante el período 2000-2008, para los reactores BWR se observa lo siguiente en las diferentes regiones:

- América rompió la barrera de los 2 Sv·p en 1998 y desde entonces se ha mantenido por debajo con un mínimo histórico en 2006 (1,37 Sv·p). Algunas de los repuntes fueron debidos a:
 - Las altas dosis recibidas en Quad Cities en 2002.
- Durante el período 2000-2008 Asia fue la única región que superó los 2 Sv·p (años 2000 y 2003), alcanzando su mínimo histórico en 2005 con 1,28 Sv·p.
- En la región asiática, en 2003 se produjo el máximo del período 2000-2008 debido principalmente a la larga duración de las inspecciones periódicas y a los trabajos de reparación de las tuberías de recirculación y del *shroud* en Japón, trabajos que se realizaron en zonas de alta tasa de dosis.
- En 2005 el valor tan bajo se debió a la reducción de los trabajos de modificación de diseño que se realizaban en zonas de altas tasas de dosis y a una disminución en el número y duración de las inspecciones periódicas comparadas con 2004 y 2003.

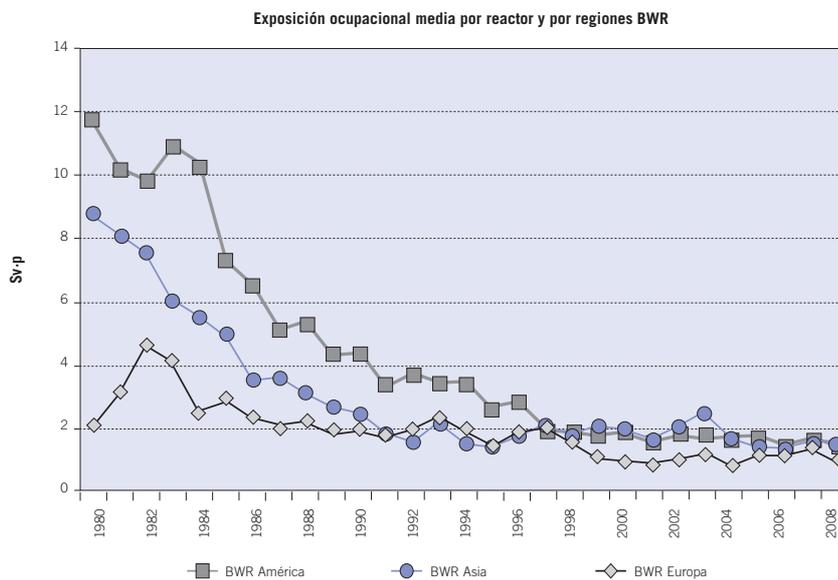
- En Europa, el período 2000-2008 se caracteriza por valores entorno a 1 Sv·p con un mínimo en 2004 de 0,84 Sv·p. Las dosis más altas corresponden a los años en los que

se han producido trabajos de modernización en dos centrales suecas y de mantenimiento en la central española de Cofrentes. El valor máximo se alcanzó en 2007 con 1,33 Sv·p.

Gráfica II.7. Exposición ocupacional media por regiones para reactores tipo PWR



Gráfica II.8. Exposición ocupacional media por regiones para reactores tipo BWR



Anexo III. Datos ISOE para la elaboración del capítulo III

1. Reactores PWR

		Dosis colectiva anual (Sv·p)																											
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
España		4,96	3,48	5,86	2,82	6,33	3,28	2,87	2,70	2,24	2,24	1,87	2,02	1,37	1,82	2,12	1,47	1,35	0,54	0,71	0,59	0,43	0,50	0,43	0,31	0,42	0,38	0,50	0,29
América		6,62	5,80	5,92	5,63	4,09	3,77	3,51	3,25	2,85	2,85	2,22	2,17	1,96	1,33	1,71	1,32	1,36	0,94	1,05	0,97	0,90	0,86	0,91	0,72	0,76	0,86	0,66	0,68
Asia		2,84	3,17	2,76	1,98	2,26	2,25	1,93	2,71	1,84	1,81	1,06	1,38	1,51	1,04	1,14	0,96	0,94	0,96	0,93	0,91	1,02	0,80	0,83	0,95	0,78	0,80	1,02	1,08
Europa		2,76	2,44	3,09	2,19	2,49	2,58	2,14	2,06	2,23	2,09	2,17	2,10	1,77	1,68	1,62	1,47	1,28	1,02	1,03	0,97	0,87	0,88	0,80	0,71	0,76	0,64	0,62	0,60
Francia		1,56	1,55	2,14	1,90	1,92	2,28	1,93	1,76	2,08	2,35	2,41	2,36	2,05	1,73	1,63	1,59	1,42	1,21	1,17	1,09	1,02	0,97	0,89	0,79	0,78	0,69	0,63	0,66
Alemania		5,85	4,61	5,44	3,66	3,29	3,41	2,79	2,71	2,62	1,73	2,26	1,98	1,45	2,25	2,00	1,66	1,43	1,01	1,23	1,13	0,89	1,23	1,04	0,90	1,32	0,84	1,04	0,62
Suecia		3,41	1,79	2,35	1,23	1,13	2,00	1,46	1,45	1,97	1,05	0,84	1,12	0,85	0,64	0,98	0,66	0,64	0,59	0,43	0,43	0,35	0,51	0,54	0,58	0,63	0,51	0,41	0,56
EEUU		6,62	5,80	5,92	5,63	4,16	3,81	3,56	3,26	2,87	2,89	2,23	2,19	1,95	1,34	1,73	1,32	1,34	0,94	1,06	0,96	0,91	0,87	0,90	0,72	0,77	0,86	0,65	0,67
Corea		4,79	4,62	2,49	2,95	2,87	2,08	1,96	4,18	2,07	1,99	0,99	1,63	1,64	1,18	1,19	0,87	0,88	1,04	0,84	0,77	0,67	0,52	0,51	0,65	0,56	0,54	0,67	0,49
Bélgica		3,15	2,98	2,71	2,18	2,73	3,61	2,03	2,52	2,80	1,68	1,60	1,21	1,35	0,98	1,31	0,92	0,39	0,71	0,40	0,35	0,54	0,41	0,38	0,41	0,41	0,39	0,29	0,45
Suiza		2,06	2,50	4,01	2,13	2,00	2,20	2,84	1,79	2,18	1,35	1,61	1,65	1,56	0,79	0,82	0,71	0,48	0,46	0,77	0,69	0,48	0,51	0,34	0,48	0,66	0,35	0,37	0,46

		Dosis colectiva media trienal (Sv·p)																											
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
España		-	-	4,77	4,05	5,00	4,14	4,16	2,95	2,60	2,39	2,12	2,04	1,75	1,74	1,77	1,80	1,65	1,12	0,87	0,61	0,58	0,51	0,45	0,41	0,39	0,37	0,43	0,39
América		-	-	6,11	5,78	5,21	4,50	3,79	3,51	3,20	2,98	2,64	2,41	2,12	1,82	1,67	1,45	1,46	1,21	1,12	0,99	0,97	0,91	0,89	0,83	0,80	0,78	0,76	0,73
Asia		-	-	2,92	2,64	2,33	2,16	2,15	2,30	2,16	2,12	1,57	1,42	1,32	1,31	1,23	1,05	1,01	0,95	0,94	0,93	0,95	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84	0,87	0,97
Europa		-	-	2,76	2,57	2,59	2,42	2,40	2,26	2,14	2,13	2,16	2,12	2,01	1,85	1,69	1,59	1,46	1,26	1,11	1,01	0,96	0,91	0,85	0,80	0,76	0,70	0,67	0,62
Francia		-	-	1,75	1,86	1,99	2,03	2,04	1,99	1,92	2,06	2,28	2,37	2,27	2,05	1,80	1,65	1,55	1,41	1,27	1,16	1,09	1,03	0,96	0,88	0,82	0,75	0,70	0,66
Alemania		-	-	5,30	4,57	4,13	3,45	3,16	2,97	2,71	2,35	2,20	1,99	1,90	1,89	1,90	1,97	1,70	1,37	1,22	1,12	1,08	1,08	1,05	1,06	1,09	1,02	1,07	0,83
Suecia		-	-	2,52	1,79	1,57	1,45	1,53	1,64	1,63	1,49	1,29	1,00	0,94	0,87	0,82	0,76	0,76	0,63	0,55	0,48	0,40	0,43	0,47	0,54	0,58	0,57	0,52	0,49
EEUU		-	-	6,11	5,78	5,24	4,53	3,84	3,54	3,23	3,01	2,66	2,44	2,12	1,83	1,67	1,46	1,46	1,20	1,11	0,99	0,98	0,91	0,89	0,83	0,80	0,78	0,76	0,73
Corea		-	-	3,97	3,35	2,77	2,63	2,30	2,74	2,74	2,75	1,68	1,54	1,42	1,48	1,34	1,08	0,98	0,93	0,92	0,88	0,76	0,65	0,57	0,56	0,57	0,58	0,59	0,57
Bélgica		-	-	2,95	2,62	2,54	2,84	2,79	2,72	2,45	2,33	2,03	1,50	1,39	1,18	1,21	1,07	0,87	0,67	0,50	0,49	0,43	0,43	0,44	0,40	0,40	0,40	0,36	0,38
Suiza		-	-	2,86	2,88	2,71	2,11	2,35	2,28	2,27	1,77	1,71	1,54	1,61	1,33	1,06	0,77	0,67	0,55	0,57	0,64	0,65	0,56	0,44	0,44	0,49	0,50	0,46	0,39

2. Reactores BWR

		Dosis colectiva anual (Sv·p)																											
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
.....	.....	10,18	9,77	10,97	10,32	7,35	6,51	5,13	5,29	4,32	4,38	3,29	3,65	3,43	3,34	2,57	2,80	2,02	1,92	1,85	1,76	1,46	1,75	1,63	1,66	1,71	1,36	1,65	1,42
.....	.....	2,86	9,39	7,14	3,50	10,90	0,97	5,41	5,84	2,49	5,10	3,42	4,07	2,79	3,94	0,52	3,36	2,39	0,58	2,45	1,47	0,88	1,52	2,16	0,46	2,32	0,41	4,15	0,50
.....	.....	8,09	7,57	6,02	5,50	4,95	3,57	3,51	2,95	2,66	2,39	1,74	1,57	2,22	1,58	1,55	1,60	2,05	1,78	2,14	1,96	1,68	2,10	2,38	1,61	1,28	1,30	1,48	1,42
.....	.....	3,12	4,71	4,08	2,45	2,94	2,27	2,04	2,22	1,88	1,92	1,69	2,03	2,31	2,01	1,34	1,92	2,03	1,38	1,09	0,93	0,84	1,05	1,15	0,84	1,18	1,02	1,33	0,91
.....	.....	10,18	9,77	10,97	10,32	7,35	6,51	5,13	5,29	4,32	4,38	3,24	3,60	3,47	3,27	2,54	2,52	2,01	1,77	1,74	1,69	1,36	1,74	1,62	1,55	1,71	1,35	1,58	1,23
.....	.....	1,54	0,88	1,45	1,13	1,06	1,23	1,16	1,39	1,08	1,25	1,15	1,77	2,62	1,71	1,67	2,33	2,82	1,52	1,12	0,85	0,71	1,34	1,23	0,63	1,06	1,09	1,10	0,85
.....	.....	2,95	2,91	2,91	3,95	3,09	6,84	2,52	3,06	2,88	2,05	2,12	2,40	2,04	2,31	1,57	1,68	1,45	1,37	1,10	0,89	0,97	0,74	1,04	1,44	0,99	0,97	1,10	1,16
.....	.....	8,09	7,57	6,02	5,50	4,95	3,57	3,51	2,95	2,66	2,39	1,74	1,57	2,22	1,58	1,55	1,60	2,05	1,78	2,14	1,96	1,68	2,10	2,38	1,61	1,28	1,30	1,48	1,42

		Dosis colectiva media trienal (Sv·p)																												
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
.....	-	-	6,46	6,68	7,18	5,12	5,76	4,07	4,58	4,48	3,67	4,20	3,43	3,60	2,42	2,61	2,09	2,11	1,81	1,50	1,60	1,29	1,52	1,38	1,65	1,06	2,29	1,69	
.....	-	-	10,31	10,35	9,55	8,06	6,33	5,64	4,91	4,66	4,00	3,77	3,46	3,47	3,11	2,90	2,46	2,25	1,93	1,84	1,69	1,66	1,61	1,68	1,67	1,58	1,57	1,48	
.....	-	-	7,23	6,36	5,49	4,67	4,01	3,34	3,04	2,67	2,26	1,90	1,84	1,79	1,78	1,58	1,73	1,81	1,99	1,96	1,93	1,91	2,05	2,03	1,76	1,40	1,35	1,40	
.....	-	-	3,97	3,75	3,16	2,55	2,42	2,18	2,05	2,01	1,83	1,88	2,01	2,12	1,89	1,76	1,76	1,78	1,50	1,13	0,95	0,94	1,01	1,01	1,01	1,06	1,01	1,18	1,09
.....	-	-	10,31	10,35	9,55	8,06	6,33	5,64	4,91	4,66	3,98	3,74	3,44	3,45	3,09	2,78	2,36	2,10	1,84	1,73	1,60	1,60	1,57	1,64	1,63	1,54	1,55	1,39	
.....	-	-	1,29	1,15	1,21	1,14	1,15	1,26	1,21	1,24	1,16	1,39	1,85	2,03	2,00	1,90	2,27	2,22	1,82	1,16	0,89	0,97	1,09	1,07	0,97	0,93	1,08	1,01	
.....	-	-	2,92	3,26	3,32	4,63	4,15	4,14	2,82	2,66	2,35	2,19	2,19	2,25	1,97	1,85	1,57	1,50	1,31	1,12	0,99	0,87	0,92	1,07	1,16	1,13	1,02	1,08	
.....	-	-	7,23	6,36	5,49	4,67	4,01	3,34	3,04	2,67	2,26	1,90	1,84	1,79	1,78	1,58	1,73	1,81	1,99	1,96	1,93	1,91	2,05	2,03	1,76	1,40	1,35	1,40	

Anexo IV. Datos ISOE para la elaboración del capítulo IV

1. Santa María de Garoña

		Dosis colectiva anual (Sv·p)																											
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Garofía		2,86	9,39	7,14	3,50	20,35	1,44	8,95	8,25	1,66	7,01	1,60	6,62	0,90	4,08	0,56	4,90	2,04	0,68	2,68	0,31	1,29	0,25	1,24	0,23	1,31	0,17	1,55	0,35
GE2		11,92	12,23	8,84	12,54	8,13	6,91	7,05	4,46	4,23	4,40	3,82	3,52	4,39	4,05	3,35	3,41	2,94	2,11	2,27	2,34	1,69	3,31	1,95	1,76	1,97	1,32	1,61	0,89
BWR		7,66	7,69	7,64	6,60	5,30	4,36	3,78	3,78	3,18	3,15	2,45	2,62	2,78	2,46	1,95	2,21	2,03	1,75	1,76	1,63	1,39	1,70	1,77	1,45	1,43	1,27	1,51	1,31
América		5,52	5,29	5,75	5,61	4,39	4,34	4,12	4,21	3,78	3,83	3,04	3,17	2,89	2,41	2,51	2,17	1,91	1,50	1,54	1,43	1,32	1,39	1,42	1,27	1,39	1,29	1,20	1,25
Asia		1,32	1,30	1,24	1,24	1,22	1,14	1,07	1,24	1,03	0,99	0,67	0,81	1,03	0,81	0,82	0,86	0,97	0,94	1,01	0,99	0,95	0,99	1,12	0,95	0,80	0,84	0,95	1,00
Europa		1,76	2,26	2,46	2,12	2,69	2,88	2,70	2,84	2,80	2,89	3,02	3,22	2,91	2,74	2,55	2,46	2,31	1,89	1,78	1,59	1,37	1,65	1,55	1,33	1,36	1,18	1,22	0,90

		Dosis colectiva media trienal (Sv·p)																											
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Garofía		-	-	6,464	6,677	10,331	8,431	10,250	6,217	6,289	5,642	3,423	5,076	3,037	3,863	1,843	3,178	2,500	2,541	1,802	1,225	1,427	0,615	0,925	0,572	0,926	0,570	1,010	0,691
GE2		-	-	10,996	11,201	9,835	9,190	7,362	6,141	5,250	4,365	4,152	3,913	3,911	3,988	3,933	3,604	3,234	2,821	2,440	2,240	2,101	2,449	2,317	2,341	1,895	1,685	1,634	1,273
BWR		-	-	7,664	7,310	6,514	5,419	4,478	3,970	3,579	3,370	2,927	2,739	2,615	2,621	2,399	2,209	2,065	1,995	1,846	1,711	1,593	1,574	1,623	1,642	1,552	1,384	1,404	1,363
América		-	-	5,517	5,546	5,247	4,779	4,283	4,223	4,034	3,936	3,546	3,343	3,032	2,823	2,605	2,363	2,197	1,858	1,649	1,490	1,430	1,379	1,374	1,357	1,359	1,316	1,291	1,244
Asia		-	-	1,285	1,259	1,234	1,201	1,145	1,150	1,114	1,087	0,899	0,825	0,838	0,883	0,887	0,830	0,885	0,924	0,973	0,978	0,983	0,977	1,021	1,020	0,957	0,866	0,868	0,934
Europa		-	-	2,162	2,281	2,426	2,564	2,756	2,806	2,779	2,842	2,902	3,044	3,053	2,959	2,734	2,582	2,440	2,221	1,996	1,756	1,584	1,538	1,523	1,508	1,412	1,287	1,251	1,099

2. Cofrentes

		Dosis colectiva anual (Sv/p)																							
		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Cofrentes		1,44	0,49	1,87	3,42	3,33	3,18	5,24	1,51	4,69	3,80	0,47	1,81	2,73	0,47	2,21	2,63	0,47	2,80	3,09	0,70	3,33	0,65	6,75	0,65
GE5		1,46	2,40	2,93	1,84	4,62	4,49	2,30	4,26	3,25	3,29	1,67	2,93	2,10	1,11	2,16	1,43	1,39	1,36	2,19	1,67	1,78	1,31	2,65	1,53
BWR		5,30	4,36	3,78	3,78	3,18	3,15	2,45	2,62	2,78	2,46	1,95	2,21	2,03	1,75	1,76	1,63	1,39	1,70	1,77	1,45	1,43	1,27	1,51	1,31
America		4,39	4,34	4,12	4,21	3,78	3,83	3,04	3,17	2,89	2,41	2,51	2,17	1,91	1,50	1,54	1,43	1,32	1,39	1,42	1,27	1,39	1,29	1,20	1,25
Asia		1,22	1,14	1,07	1,24	1,03	0,99	0,67	0,81	1,03	0,81	0,82	0,86	0,97	0,94	1,01	0,99	0,95	0,99	1,12	0,95	0,80	0,84	0,95	1,00
Europa		2,69	2,88	2,70	2,84	2,80	2,89	3,02	3,22	2,91	2,74	2,55	2,46	2,31	1,89	1,78	1,59	1,37	1,65	1,55	1,33	1,36	1,18	1,22	0,90
Leibstadt 1		1,48	2,35	1,88	2,75	2,43	2,15	2,40	2,10	1,93	2,70	1,65	1,96	1,33	1,09	1,16	0,97	1,01	0,44	0,95	1,79	0,57	0,88	0,71	1,18
Grand Gulf		-	4,36	4,20	1,47	4,98	4,82	0,94	4,84	3,32	0,56	3,37	2,47	1,03	3,03	2,06	0,34	1,85	1,76	0,31	1,58	1,67	0,59	1,77	1,67
River Bend		-	-	3,78	1,07	5,58	4,89	1,44	7,10	1,80	5,14	0,79	4,73	3,06	0,27	3,40	0,20	2,07	0,35	2,17	2,36	0,55	2,14	1,31	3,11
Perry 1		-	-	-	1,05	7,67	6,38	1,46	5,71	2,78	6,91	6,33	3,07	2,72	0,35	3,25	0,55	2,57	0,70	6,07	0,73	4,16	0,65	5,05	0,52
Clinton		-	-	-	1,30	3,72	5,53	2,33	4,31	4,98	0,63	3,07	3,50	1,71	1,44	0,87	0,20	0,33	2,08	0,57	2,82	0,36	2,95	0,30	2,05

		Dosis colectiva media trienal (Sv/p)																							
		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Cofrentes		-	-	1,27	1,93	2,87	3,31	3,92	3,31	3,82	3,34	2,99	2,03	1,67	1,67	1,80	1,77	1,77	1,97	2,12	2,19	2,37	1,56	3,58	2,68
GE5		-	-	2,27	2,39	3,13	3,65	3,81	3,69	3,27	3,60	2,74	2,63	2,23	2,05	1,79	1,57	1,66	1,39	1,65	1,74	1,88	1,59	1,91	1,83
BWR		-	-	4,48	3,97	3,58	3,37	2,93	2,74	2,61	2,62	2,40	2,21	2,06	2,00	1,85	1,71	1,59	1,57	1,62	1,64	1,55	1,38	1,40	1,36
America		-	-	4,28	4,22	4,03	3,94	3,55	3,34	3,03	2,82	2,61	2,36	2,20	1,86	1,65	1,49	1,43	1,38	1,37	1,36	1,36	1,32	1,29	1,24
Asia		-	-	1,14	1,15	1,11	1,09	0,90	0,83	0,84	0,88	0,89	0,83	0,89	0,92	0,97	0,98	0,98	0,98	1,02	1,02	0,96	0,87	0,87	0,93
Europa		-	-	2,76	2,81	2,78	2,84	2,90	3,04	3,05	2,96	2,73	2,58	2,44	2,22	2,00	1,76	1,58	1,54	1,52	1,51	1,41	1,29	1,25	1,10
Leibstadt 1		-	-	-	-	-	2,45	2,33	2,22	2,15	2,25	2,10	2,11	1,65	1,46	1,20	1,08	1,05	0,81	0,80	1,06	1,11	1,08	0,72	0,93
Grand Gulf		-	-	-	-	-	3,76	3,58	3,53	3,03	2,91	2,42	2,14	2,30	2,18	2,04	1,81	1,42	1,32	1,31	1,22	1,19	1,29	1,35	1,35
River Bend		-	-	-	-	-	3,85	3,97	4,48	3,45	4,68	2,58	3,55	2,86	2,69	2,25	1,90	2,50	1,48	1,53	1,63	1,70	1,69	1,34	2,19
Perry 1		-	-	-	-	-	5,03	5,17	4,52	3,32	5,13	3,44	3,54	2,14	2,05	2,11	1,39	2,13	1,28	3,12	2,50	3,66	1,85	3,29	2,07
Clinton		-	-	-	-	-	3,52	3,86	4,06	3,87	3,31	2,90	2,40	2,76	2,22	1,34	1,46	1,09	1,49	1,00	1,83	1,25	2,05	1,21	1,77

3. José Cabrera

		Dosis colectiva anual (Sv·p)																											
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CNUC		4,96	6,06	10,55	1,40	12,24	3,62	3,94	3,20	2,63	3,04	2,29	2,04	0,76	3,50	1,48	0,81	2,48	1,11	1,02	0,86	0,86	0,83	0,65	0,19	0,62	0,36	0,00	0,00
O00		6,89	3,83	4,37	4,35	3,66	3,94	3,31	4,07	2,88	4,34	2,29	2,94	3,01	1,39	3,64	2,13	1,92	2,08	1,65	1,10	2,17	0,94	1,25	1,37	1,15	1,88	1,30	0,60
PWR		4,68	4,12	4,34	3,61	3,09	2,98	2,64	2,60	2,40	2,34	2,02	2,01	1,80	1,43	1,57	1,32	1,25	0,98	1,02	0,95	0,91	0,86	0,84	0,76	0,77	0,75	0,72	0,73
		Dosis colectiva media trienal (Sv·p)																											
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CNUC	-	-	-	7,19	6,00	8,06	5,75	6,60	3,58	3,26	2,96	2,65	2,46	1,69	2,10	1,91	1,93	1,59	1,47	1,54	1,00	0,91	0,85	0,78	0,56	0,49	0,39	0,33	0,12
O00	-	-	-	5,03	4,18	4,12	3,98	3,64	3,77	3,42	3,76	3,17	3,19	2,74	2,44	2,68	2,39	2,56	2,04	1,89	1,61	1,64	1,40	1,46	1,19	1,26	1,47	1,44	1,26
PWR	-	-	-	4,38	4,03	3,68	3,23	2,90	2,74	2,55	2,45	2,25	2,12	1,94	1,75	1,60	1,44	1,38	1,18	1,08	0,98	0,96	0,91	0,87	0,82	0,79	0,76	0,75	0,73

4. Almaraz

		Dosis colectiva anual (Sv·p)																											
		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Almaraz I	0,90	1,17	4,24	4,79	3,78	1,28	3,97	3,10	4,09	0,32	3,59	2,50	0,36	2,68	3,80	1,07	0,17	1,49	0,92	0,11	0,70	0,45	0,04	0,42	0,55	0,05	0,48		
Almaraz II	-	-	-	4,79	3,78	1,28	3,97	3,10	0,23	2,49	2,05	0,33	2,81	2,11	0,58	3,12	1,00	0,21	0,50	0,42	0,10	0,36	0,42	0,04	0,44	0,58	0,04		
PWR	4,12	4,34	3,61	3,09	2,98	2,64	2,60	2,40	2,34	2,02	2,01	1,80	1,43	1,57	1,32	1,25	0,98	1,02	0,95	0,91	0,86	0,84	0,76	0,77	0,75	0,72	0,73		
W32	0,66	1,17	1,76	2,58	1,64	2,24	2,34	1,78	1,77	1,52	1,44	1,25	1,46	1,84	1,18	1,04	0,77	0,71	0,71	0,68	0,48	0,59	0,55	0,45	0,58	0,56	0,37		
		Dosis colectiva media trienal (Sv·p)																											
		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Almaraz I	-	-	2,102	3,398	4,269	3,282	3,008	2,782	3,718	2,502	2,665	2,134	2,147	1,846	2,282	2,520	1,683	0,912	0,860	0,840	0,576	0,421	0,398	0,305	0,336	0,338	0,357		
Almaraz II	-	-	-	-	-	3,282	3,008	2,782	2,431	1,940	1,591	1,626	1,732	1,752	1,833	1,937	1,567	1,444	0,569	0,374	0,340	0,296	0,297	0,277	0,303	0,354	0,353		
PWR	-	-	4,026	3,683	3,229	2,904	2,739	2,547	2,448	2,254	2,122	1,942	1,747	1,600	1,440	1,377	1,182	1,082	0,983	0,960	0,906	0,871	0,822	0,792	0,760	0,746	0,734		
W32	-	-	1,197	1,836	1,994	1,254	2,075	2,120	1,965	1,689	1,576	1,402	1,383	1,518	1,496	1,356	0,998	0,840	0,728	0,697	0,622	0,582	0,541	0,532	0,528	0,531	0,505		

5. Ascó

		Dosis colectiva anual (Sv·p)																							
		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ascó I		3,50	2,62	3,93	2,47	2,60	3,51	2,20	2,30	2,26	1,99	5,37	0,12	1,49	0,59	0,03	0,59	0,75	0,03	0,67	0,49	0,04	0,52	0,68	0,07
Ascó II		-	2,62	3,93	2,47	2,60	2,91	2,18	1,93	1,71	1,86	1,94	3,70	0,05	0,77	0,70	0,02	0,61	0,51	0,03	0,72	0,56	0,09	0,58	0,72
PWR		3,09	2,98	2,64	2,60	2,40	2,34	2,02	2,01	1,80	1,43	1,57	1,32	1,25	0,98	1,02	0,95	0,91	0,86	0,84	0,76	0,77	0,75	0,72	0,73
W32		2,58	1,64	2,24	2,34	1,78	1,77	1,52	1,44	1,25	1,46	1,84	1,18	1,04	0,77	0,71	0,71	0,68	0,48	0,59	0,55	0,45	0,58	0,56	0,37

Dosis colectiva media trienal (Sv·p)

		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ascó I		-	-	-	3,007	3,000	2,861	2,769	2,668	2,252	2,185	3,208	2,494	2,326	0,734	0,705	0,407	0,459	0,458	0,482	0,397	0,402	0,354	0,417	0,426
Ascó II		-	-	-	3,007	3,000	2,661	2,566	2,344	1,943	1,835	1,839	2,503	1,900	1,509	0,507	0,495	0,441	0,379	0,383	0,419	0,437	0,457	0,413	0,466
PWR		-	-	-	2,739	2,547	2,448	2,254	2,122	1,942	1,747	1,600	1,440	1,377	1,182	1,082	0,983	0,960	0,906	0,871	0,822	0,792	0,760	0,746	0,734
W32		-	-	-	2,075	2,120	1,965	1,689	1,576	1,402	1,383	1,518	1,496	1,356	0,998	0,840	0,728	0,697	0,622	0,582	0,541	0,532	0,528	0,531	0,505

6. Vandellós II

		Dosis colectiva anual (Sv·p)																						
		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008		
Vandellós II		0,12	1,16	1,09	1,55	1,78	1,47	1,89	0,96	1,02	0,91	0,02	1,13	0,96	0,03	0,96	0,58	0,05	0,78	0,27	0,78	0,78	0,78	0,07
PWR		2,60	2,40	2,34	2,02	2,01	1,80	1,43	1,57	1,32	1,25	0,98	1,02	0,95	0,91	0,86	0,84	0,76	0,77	0,75	0,72	0,75	0,72	0,73
W32		2,34	1,78	1,77	1,52	1,44	1,25	1,46	1,84	1,18	1,04	0,77	0,71	0,71	0,68	0,48	0,59	0,55	0,45	0,58	0,56	0,58	0,56	0,37

Dosis colectiva media trienal

		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Vandellós II		-	-	0,788	1,264	1,472	1,598	1,711	1,439	1,290	0,966	0,653	0,690	0,704	0,706	0,650	0,525	0,533	0,473	0,367	0,611	0,373	0,373
PWR		-	-	2,448	2,254	2,122	1,942	1,747	1,600	1,440	1,377	1,182	1,082	0,983	0,960	0,906	0,871	0,822	0,792	0,760	0,746	0,746	0,734
W32		-	-	1,965	1,689	1,576	1,402	1,383	1,518	1,496	1,356	0,998	0,840	0,728	0,697	0,622	0,582	0,541	0,532	0,528	0,531	0,531	0,505

7. Trillo

Dosis colectiva anual (Sv-p)																				
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Trillo	0,48	0,79	2,09	0,45	0,53	0,32	0,30	0,26	0,30	0,09	0,37	0,27	0,22	0,33	0,27	0,23	0,47	0,43	0,30	0,38
PWR	2,40	2,34	2,02	2,01	1,80	1,43	1,57	1,32	1,25	0,98	1,02	0,95	0,91	0,86	0,84	0,76	0,77	0,75	0,72	0,73
S32	2,01	1,23	1,38	1,05	1,12	1,12	1,28	0,74	0,68	0,62	0,90	0,63	0,51	0,64	0,44	0,69	0,83	0,51	0,53	0,64
S43	0,15	0,14	0,18	0,20	0,23	0,18	0,18	0,24	0,20	0,18	0,16	0,19	0,13	0,19	0,12	0,16	0,20	0,10	0,17	0,12

Dosis colectiva media trienal (Sv-p)																				
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Trillo	-	-	1,117	1,110	1,025	0,436	0,384	0,293	0,285	0,217	0,256	0,247	0,291	0,275	0,273	0,275	0,321	0,375	0,398	0,370
PWR	-	-	2,254	2,122	1,942	1,747	1,600	1,440	1,377	1,182	1,082	0,983	0,960	0,906	0,871	0,822	0,792	0,760	0,746	0,734
S32	-	-	1,541	1,222	1,185	1,097	1,173	1,045	0,898	0,680	0,733	0,718	0,682	0,597	0,533	0,590	0,651	0,674	0,623	0,562
S43	-	-	0,156	0,174	0,206	0,203	0,196	0,198	0,206	0,205	0,178	0,173	0,159	0,170	0,147	0,156	0,160	0,153	0,155	0,126

8. Segunda generación de reactores PWR

Dosis colectiva anual (Sv-p)																											
	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Almaraz I	0,90	1,16	4,24	4,78	3,77	1,28	3,96	3,09	4,08	0,32	3,58	2,49	0,35	2,68	3,80	1,07	1,17	1,49	0,91	0,11	0,69	0,45	0,04	0,41	0,54	0,04	0,47
Almaraz II	-	-	-	4,78	3,77	1,28	3,96	3,09	0,22	2,49	2,05	0,33	2,81	2,11	0,57	3,12	1,00	0,20	0,49	0,41	0,10	0,36	0,42	0,04	0,44	0,57	0,04
Asco I	-	-	-	3,49	2,62	3,92	2,47	2,60	3,51	2,19	2,29	2,26	1,99	5,36	0,11	1,49	0,59	0,03	0,59	0,75	0,02	0,66	0,49	0,04	0,52	0,68	0,07
Asco II	-	-	-	-	2,62	3,92	2,47	2,60	2,91	2,18	1,93	1,71	1,86	1,94	3,70	0,05	0,77	0,69	0,01	0,60	0,51	0,03	0,71	0,56	0,09	0,58	0,72
Vandellós II	-	-	-	-	-	-	0,11	1,15	1,09	1,54	1,77	1,46	1,88	0,96	1,02	0,91	0,02	1,13	0,95	0,02	0,96	0,58	0,05	0,78	0,26	0,78	0,06

Dosis colectiva media trienal (Sv-p)																											
	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Almaraz I	-	-	2,102	3,398	4,269	3,282	3,008	2,782	3,718	2,502	2,665	2,134	2,147	1,846	2,282	2,520	1,683	0,912	0,860	0,840	0,576	0,421	0,398	0,305	0,336	0,338	0,357
Almaraz II	-	-	-	-	-	3,282	3,008	2,782	2,431	1,940	1,591	1,626	1,732	1,752	1,833	1,937	1,567	1,444	0,569	0,374	0,340	0,296	0,297	0,277	0,303	0,354	0,353
Asco I	-	-	-	-	-	3,349	3,007	3,000	2,861	2,769	2,668	2,252	2,185	3,208	2,494	2,326	0,734	0,705	0,407	0,459	0,458	0,482	0,397	0,402	0,354	0,417	0,426
Asco II	-	-	-	-	-	-	3,007	3,000	2,661	2,566	2,344	1,943	1,835	1,839	2,503	1,900	1,509	0,507	0,495	0,441	0,379	0,383	0,419	0,437	0,457	0,413	0,466
Vandellós II	-	-	-	-	-	-	-	-	0,788	1,264	1,472	1,598	1,711	1,439	1,290	0,966	0,653	0,690	0,704	0,706	0,650	0,525	0,533	0,473	0,367	0,611	0,373

**Evolución de las dosis ocupacionales
en las centrales nucleares españolas
y su comparación en el contexto
internacional de los países del ISOE**

Informe INTERDOS 2000-2008

Colección Documentos
19.2011