

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

Informe INTERDÓS 2000-2010

# CSN

Colección  
Documentos  
23.2013



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

**Informe INTERDÓS 2000-2010**

Miguel Ángel de la Rubia Rodiz, Teresa Labarta Mancho,  
Manuel Rodríguez Martí  
Subdirección de Protección Radiológica Operacional

Colección: Documentos CSN  
Referencia DOC-07-16

© Copyright 2013, 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](mailto:peticiones@csn.es)

Maquetación: Pilar Guzmán

Depósito legal: M-25225-2013

## Índice

Objeto y alcance .....	5
Introducción .....	7
I. Datos e información de referencia .....	11
II. La exposición ocupacional en el ámbito ISOE. Marco comparativo.....	13
III. La exposición ocupacional en España en relación con el ámbito ISOE.....	20
III.1. Exposición ocupacional media en España frente al ámbito ISOE.....	21
III.2. Exposición ocupacional media de los reactores PWR en España frente a reactores PWR del ámbito ISOE.....	25
III.3. Exposición ocupacional media de los reactores BWR en España frente a reactores BWR del ámbito ISOE ....	32
IV. Análisis individualizados de las centrales nucleares españolas .....	40
IV.1. Centrales BWR .....	41
IV.1.1. Central nuclear Santa María de Garoña .....	41
IV.1.2. Central nuclear de Cofrentes .....	47
IV.2. Centrales PWR .....	57
IV.2.1. Central nuclear de Almaraz .....	58
IV.2.2. Central nuclear de Ascó .....	64
IV.2.3. Central nuclear Vandellós II .....	73
IV.2.4. Central nuclear de Trillo .....	80
V. Conclusiones .....	85
V.1. La exposición ocupacional en el mundo: ámbito ISOE ..	87
V.2. La exposición ocupacional en España en relación con el ámbito ISOE .....	88
V.2.1. Exposición ocupacional media de los reactores PWR en España frente a reactores PWR del ámbito ISOE.....	88

V.2.2. Exposición ocupacional media de los reactores BWR en España frente a reactores BWR del ámbito ISOE.....	89
V.3. Conclusiones sobre el análisis individualizado de los reactores españoles.....	90
V.3.1. Centrales BWR .....	90
V.3.1.1. Central nuclear de Santa María de Garoña.....	90
V.3.1.2. Central nuclear de Cofrentes .....	91
V.3.2. Centrales PWR.....	92
V.3.2.1. Central nuclear de Almaraz .....	92
V.3.2.2. Central nuclear de Ascó .....	93
V.3.2.3. Central nuclear Vandellós II .....	95
V.3.2.4. Central nuclear de Trillo.....	95
VI. Referencias bibliográficas .....	97
Lista de acrónimos y siglas .....	99

# 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 2000-2010 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, 2000 y 2008 (referencias 1, 2, 3 y 4).



# 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 solo 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 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 operaciones de mantenimiento en lo posible, añadiendo cues-

tiones 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 periodo comprendido entre 2000-2010 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 periodo 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 Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, Real Decreto 783/2001, que suponía la transposición de la Directiva 96/29 Euratom, así como su modificación mostrada en el Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio. Asimismo, durante el periodo 2000-2010 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.
- *Instrucción IS-02* sobre documentación de actividades de recarga en centrales nucleares de agua ligera.
- *Instrucción IS-03* sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes.
- *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.
- *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. 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 ésta 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).
- *Instrucción IS-20* por la que se establecen los requisitos de seguridad relativos a contenedores de almacenamiento de combustible gastado (BOE, 18 de febrero de 2009).
- *Instrucción IS-24* por la que se regulan el archivo y los periodos de retención de los documentos y registros de las instalaciones nucleares (BOE, 1 de junio de 2010).
- *Instrucción IS-29* sobre criterios de seguridad en instalaciones de almacenamiento temporal de combustible gastado y residuos radiactivos de alta actividad (BOE, 2 de noviembre de 2010).

# 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) 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 adquisición, análisis y divulgación de los datos de exposición ocupacional. Desde 1993 el Organismo Internacional de 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 Programa ISOE incluye datos 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 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.

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

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

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.

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 dismi-

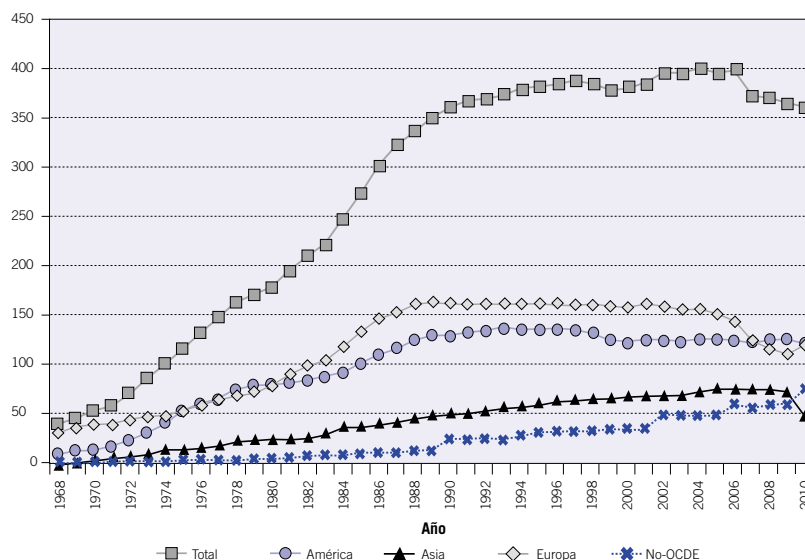
nuyendo progresivamente desde 1989. Desde el año 2002 el número de reactores parece estabilizarse en torno a los 397 reactores, disminuyendo desde este año. En los últimos siete años, de 2000 a 2006, Europa y América muestran una tendencia estable en el número de reactores incluidos en ISOE mientras que Asia y los países no miembros de la OCDE siguen una tendencia creciente. Desde el año 2007 hasta la actualidad, Europa muestra una tendencia decreciente en cuanto al número de reactores en operación (pasa de 188 en 2006 a 154 en 2009), mientras que América muestra una situación estable. En cuanto a la situación de Asia muestra una tendencia ascendente (gráfica 1).

Tabla 1. Descripción de los gráficos

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.



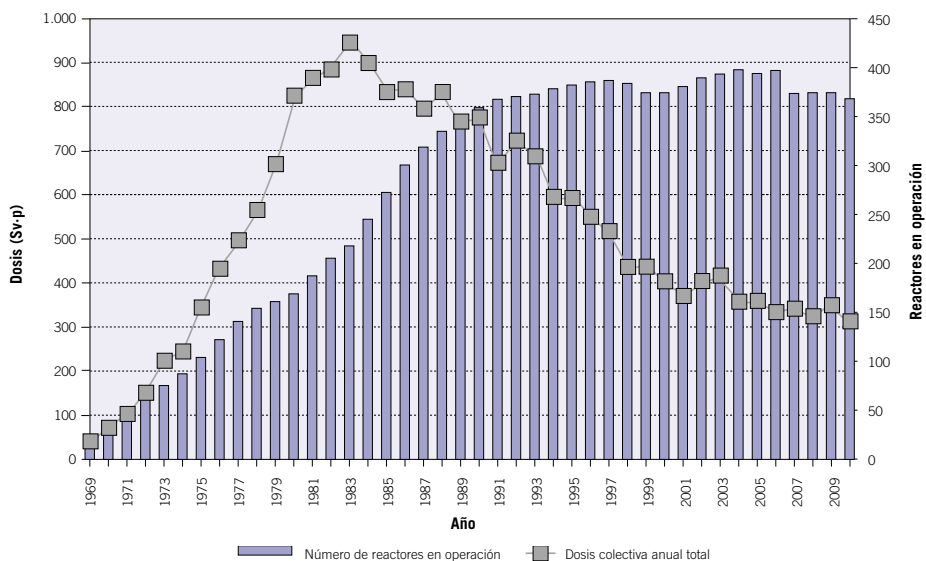
Gráfica 1. Número total de reactores en operación incluidos en el ISOE por región



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 inicia-

les de los 60 y 70 durante la puesta en marcha de la mayor parte del parque mundial de reactores) en 2010 con 311,89 Sv·p (gráfica 2).

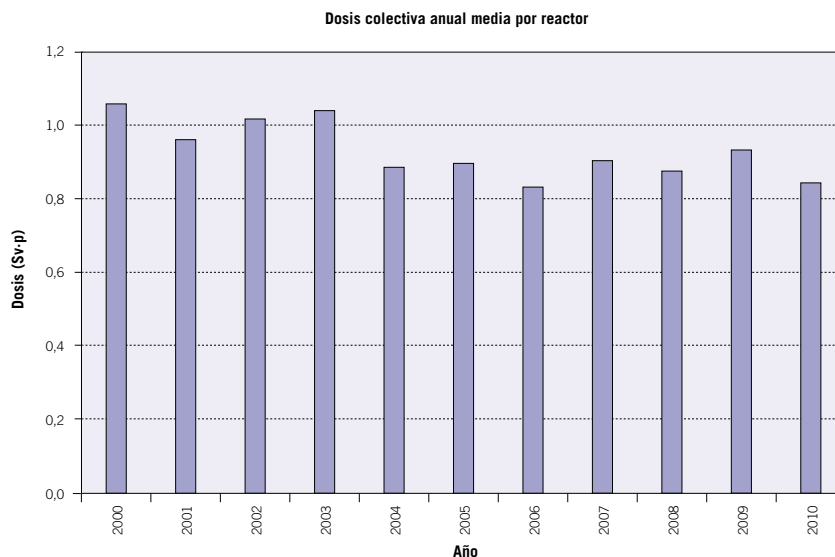
Gráfica 2. Dosis colectiva total anual y número de reactores en operación en el ISOE



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 periodo

2000-2010 fue 0,94 Sv.p. El descenso de las dosis en estos últimos años (2000 – 2010) 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

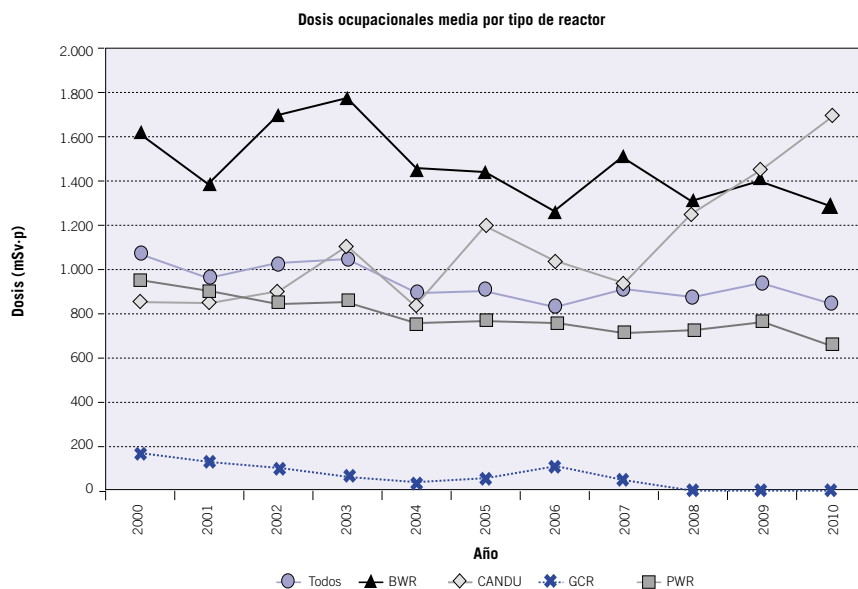


En adelante, en el presente informe, las gráficas que se muestran abarcan el periodo 2000 a 2010 ya que es su objeto de estudio. Para información sobre periodos anteriores se pueden consultar los informes Interdós de los años 1993, 1995, 2000 y 2008 (refs. 1, 2, 3, y 4).

La dosis media anual por tipo de reactor, en general, ha disminuido de forma consistente durante el periodo 2000-2010, 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).

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



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 periodo 2000-2010 de 0,79 Sv·p y el mínimo en 2010 de 0,66. La dosis colectiva media anual para el global de reactores BWR en el periodo en estudio es de 1,47 Sv·p habiendo pasado de 1,63 Sv·p en el año 2000 a los 1,3 del año 2010. El máximo se situó en 1,77 Sv·p en el año 2003.

Cabe destacar el fuerte incremento de los reactores CANDU que ha llegado a los 1,7 Sv·p en el año 2010.

Respecto a la exposición ocupacional por regiones (gráfica 5), las regiones que más contribuyen al cómputo global anual son América y Europa, seguidas por Asia. Todas las contribuciones se agrupan durante el

periodo 2000-2010 en una franja de entre 90 y 170 Sv·p. En el periodo considerado, América y Europa han ido intercambiando posiciones, terminando la década con menores valores europeos.

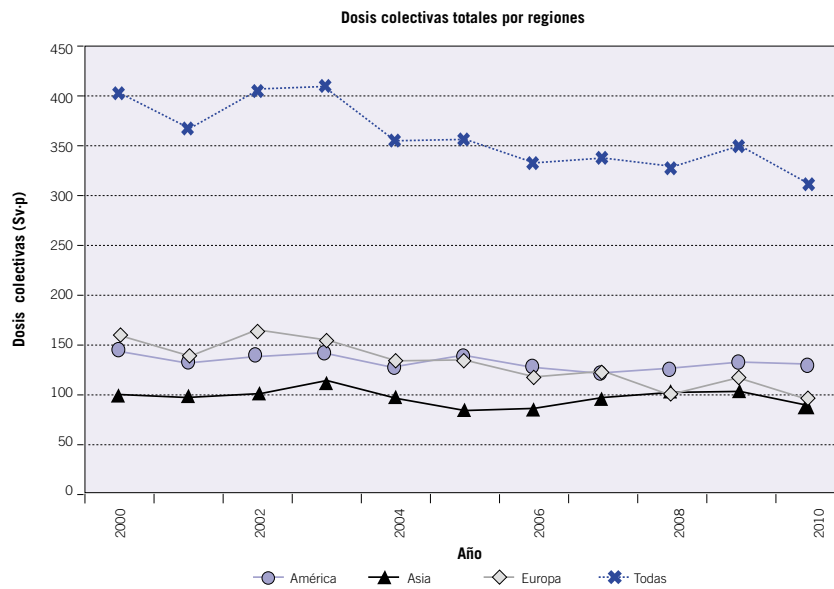
Para el periodo 2000- 2010 los valores de dosis colectiva media por reactor (gráfica 6) más altos corresponden a Asia (1,22 Sv·p de promedio en el periodo considerado) seguida de Norteamérica con una media de 1,06 Sv·p. Europa se mantiene en valores inferiores a 1 Sv·p desde el año 2000 (0,73 Sv·p de media en el periodo 2000-2010).

Durante el periodo 2000-2010, 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 sufre un

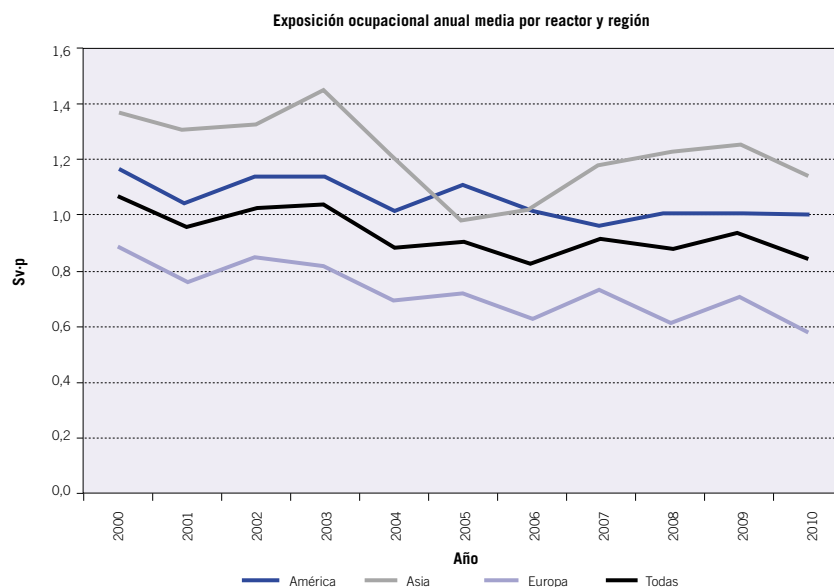
repunte a partir de 2005 y hasta 2009 pasando de 0,78 a 1,08 Sv·p en dicho periodo (aunque el cómputo general de la década sea decreciente). La media anual para los reactores PWR de todas las regiones durante el periodo 2000-2010 fue de 0,8 Sv·p. Para los reactores BWR

(gráfica 8), América y Asia se han alternado 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 periodo en estudio es de 1,4 Sv·p.

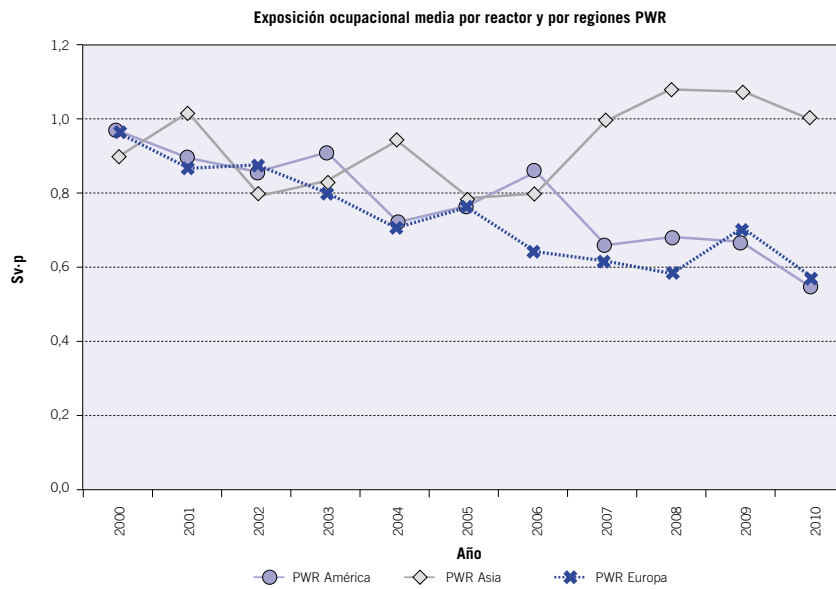
Gráfica 5. Evolución de la exposición ocupacional anual por regiones



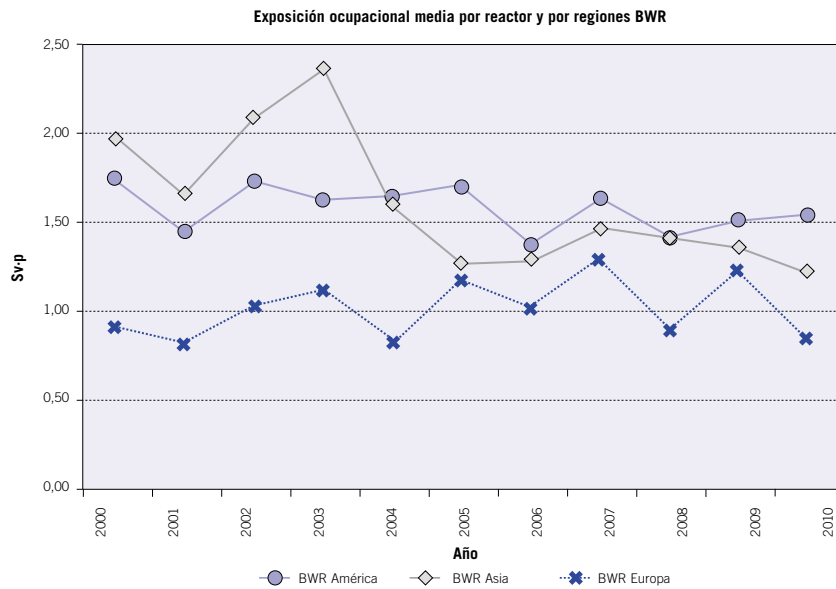
Gráfica 6. Evolución de la exposición ocupacional anual media por reactor y por regiones



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



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

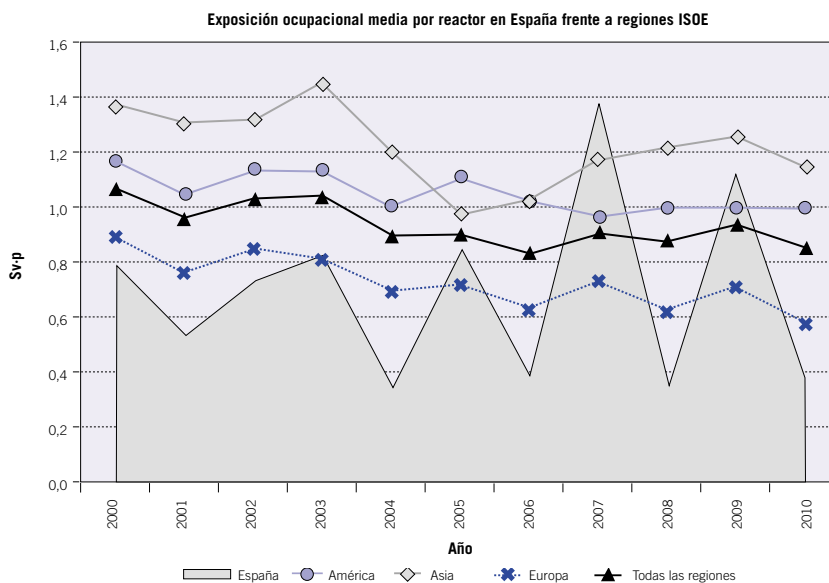
Para hacer un seguimiento más allá del periodo evaluado en el presente informe de la exposición ocupacional en España en relación con el ámbito ISOE, se puede consultar el informe Interdós de 2008 (ref. 4).

#### III.1. 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 presenta una difícil interpretación en cuanto a su tendencia para los reactores españoles. La recta de regresión presenta una pendiente práctica-

mente nula (0,004 Sv·p/año), sin embargo, el coeficiente de correlación es tan bajo que no es posible extraer conclusiones de esta tendencia. Si se elimina de los datos los valores de las modificaciones de diseño realizadas en la central nuclear de Cofrentes en el sistema CRDH en 2007 (4 Sv·p), resulta una tendencia ligeramente decreciente (pendiente de la recta de regresión de  $-0,02$  Sv·p/año, aunque el coeficiente de correlación sigue siendo muy bajo). Como se ha comentado, la gráfica presenta un pico en el año 2007 por las modificaciones realizadas en la central nuclear de Cofrentes, y en 2009 debido a que todas las centrales realizan recarga salvo la central nuclear Ascó II. La gráfica de los valores en España presenta picos que coinciden con el mayor número de centrales en recarga, en especial con las recargas de los tipo BWR que son los que más contribuyen a la dosis total.

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



En los años sin recarga de las centrales BWR o con una sola parada, los valores de dosis colectivas se encuentran en todos los casos por debajo de todas las regiones. En los años 2003 y 2005 con paradas de recarga de las dos centrales BWR, los valores son similares a la media europea. Sin embargo, en los años 2007 y 2009, también con paradas de recarga de las dos centrales BWR españolas, los valores se incrementan y son más parecidos a los de la media asiática o norteamericana.

Para entender mejor la evolución durante este periodo de los resultados del parque español se incluyen a continuación dos tablas (tablas 2 y 3), 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. En el año 2000, España se situó por debajo de la media de todas las regiones y de todo el parque ISOE.

El año 2002 supuso un año de incremento de la dosis media. En este año 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 Cofrentes. 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.

Tabla 2. Paradas de recarga de combustible en las centrales españolas durante el periodo 2000-2010

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
José Cabrera	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	–	–	–	–
Almaraz I	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
Almaraz II	Si	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Ascó I	Si	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No
Ascó II	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
Vandellós II	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Trillo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Garoña	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí
Cofrentes	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Total	7	6	6	8	4	7	5	7	3	7	4
	6 PWR	5 PWR	5 PWR	6 PWR	4 PWR	5 PWR	5 PWR	5 PWR	3 PWR	5 PWR	3 PWR
	1 BWR	1 BWR	1 BWR	2 BWR	0 BWR	2 BWR	0 BWR	2 BWR	0 BWR	2 BWR	1 BWR



Tabla 3. Dosis colectiva media por reactor para las centrales PWR y BWR españolas durante el periodo 2000-2010

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	0,38
2007	5	0,50	2	4,15	1,41
2008	3	0,29	0	0,50	0,35
2009	5	0,725	2	2,311	1,12
2010	3	0,33	1	0,52	0,37

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 prevista para la recarga debido a un aumento inesperado en las tasas de dosis en el pozo seco.

Durante este periodo, en 2004 se volvió a dar un mínimo histórico en la dosis media. Ese año, solamente pararon cuatro centrales para recarga, todas ellas PWR (Almaraz II, Ascó I y Ascó II y Trillo). Aunque Ascó II tuvo una dosis superior a la habitual tras el proyecto de sustitución de los generadores de vapor (PSGV), la reducción en las dosis debidas al

cambio de generadores hizo que su contribución no fuese significativa al 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 periodo 2000-2005. El incremento de ese año es atribuible a dos razones principales: por un lado pararon siete plantas, de las cuales las dos BWR, que como ya se ha comentado contribuyen más a la dosis, pero sobre todo a 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 lo que llevó a una nueva descontaminación 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 2000 y, por tanto, el segundo mejor valor durante el periodo de estudio. Esta disminución 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 produce 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. El valor de 1,41 Sv·p de media por reactor resultó ser el mayor de todas las regiones analizadas; dos veces por encima de la región europea (0,73 Sv·p/reactor), un 20% mayor que la de la región asiática y un 45% mayor que la americana.

En el año 2008 se obtiene un valor muy cercano al mínimo histórico de 2004 (0,35 Sv·p) debido a que solo tres reactores PWR realizaron parada de recarga no habiendo recarga en los reactores BWR. La comparativa internacional nos sitúa en 2008 por debajo del resto de regiones del ISOE analizadas.

En el año 2009 se obtiene el segundo más alto del periodo de estudio superando el valor de 1 Sv·p por reactor. En este año pararon para recarga siete reactores (cinco PWR y dos BWR), con una dosis colectiva en general muy alta para todas las centrales. Es de destacar en este año la dosis colectiva obtenida en la central nuclear de Trillo fue de 777 mSv·p, siendo el valor más alto del periodo de estudio debido al incidente del año 2008 relacionado con el atasco de una barra de control. La central nuclear de Garoña también obtuvo el valor más alto de dosis colectiva anual del periodo en este año (1.726 mSv·p) debido al mayor alcance de la recarga. Tanto Almaraz I como II tuvieron el valor más alto de dosis colectiva del periodo de estudio. El incremento de estas dosis colectivas se puede achacar en ambas unidades a los trabajos de *Weld Over Lay* y a las modificaciones realizadas en las válvulas de alivio del RH realizado en ambas unidades. En el caso de Vandellós II, se obtuvo el valor más alto del periodo de estudio con 1.211 mSv·p debido a trabajos en válvula y aislamiento.

En cuanto a Cofrentes, se obtuvieron unos valores en la recarga de 2.421 mSv·p, dando como resultado la menor dosis colectiva para una recarga desde el año 2002. No obstante, es conveniente remarcar que las dosis colectivas para la recarga se siguen encontrando por encima de los 2.000 mSv·p, superiores a las registradas en el periodo 1996-2002. La dosis colectiva anual fue de 2.900 mSv·p,

frente a los 1.726 mSv·p de Garoña a pesar de ser el peor año de la década para ésta última como se ha comentado.

Ascó II no realizó parada de recarga y Ascó I registró los mayores valores de dosis colectiva anual de la década (826 mSv·p) debido entre otras causas a los trabajos del *Weld Over Lay* durante la recarga y a su mayor duración (55 días frente a una media anterior de 33 días).

En el año 2010, pararon cuatro reactores para recarga. Garoña realizó una pequeña parada para recarga, la central nuclear Ascó II obtuvo el valor más alto de dosis colectiva del periodo de estudio achacable fundamentalmente a trabajos en los generadores de vapor, Almaraz II obtuvo el segundo valor más alto de la década también por aumento de alcance de trabajos en los generadores de vapor y Trillo volvió a valores más habituales en esta central (338 mSv·p) después de los elevados valores de 2009.

Como resumen del periodo, cabe destacar una estabilización para el conjunto de reactores del ISOE en torno a 0,9 Sv·p, alrededor de 1 Sv·p para los reactores americanos, 1,2 Sv·p para los asiáticos y 0,6 para los europeos, siendo ésta última la única que presenta una tendencia decreciente. En el caso de España existe una tendencia con picos que coinciden con las recargas de las centrales BWR, siendo destacables los valores de 2007 por el hecho ya mencionado de las modificaciones de

diseño en la central nuclear de Cofrentes, y del año 2009 por el alto valor ya comentado de dosis colectivas en los trabajos de recarga. La pendiente de la recta de regresión obtenida a partir de los datos de dosis colectivas en España es prácticamente nula (0,004 Sv·p/año) y ligeramente negativa si se eliminan los trabajos de los CRDH de Cofrentes (-0,02 Sv·p/año).

Tiene una gran influencia en los resultados globales españoles de dosis los años en los que se produce recarga de las centrales BWR ya que su contribución a las dosis colectivas es elevada, especialmente en el caso 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.

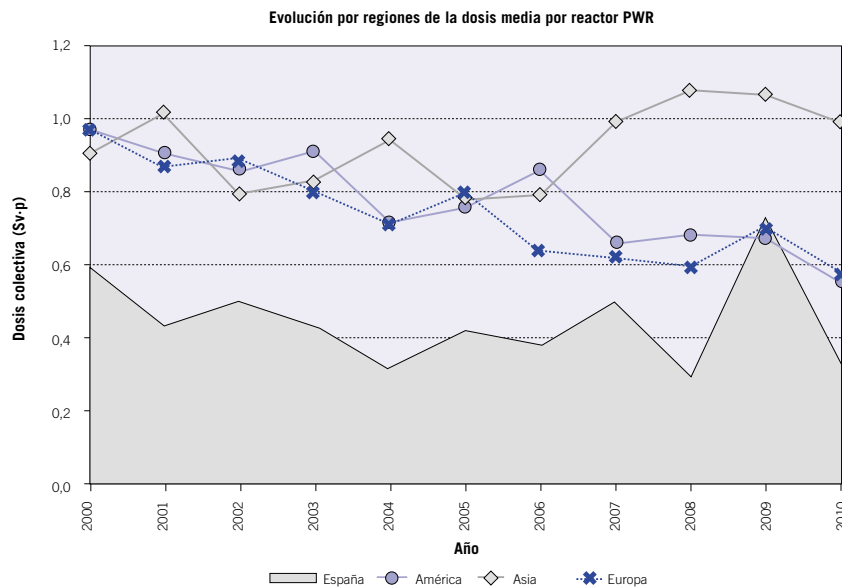
### III.2. Exposición ocupacional media de los reactores PWR en España frente a reactores PWR del ámbito ISOE

El periodo 2000-2010 se caracteriza por un inicio entorno a los 0,6 Sv·p en 2000 y un final entorno a 0,4 Sv·p en 2010 para la dosis

media por reactor. Excepto el año 2009 la dosis media anual por reactor se sitúa por debajo de la media europea, americana y asiática. Sin embargo, los valores europeos y americanos presentan gráficas decrecientes mientras que los valores en España presentan una pendiente de la recta de regresión prácticamente nula ( $-5 \text{ mSv}\cdot\text{p}/\text{año}$ , frente a los

$-36 \text{ mSv}\cdot\text{p}/\text{año}$  de América y Europa). Los coeficientes de correlación obtenidos de las rectas de regresión de las gráficas americanas y europeas son significativamente más cercanos a  $-1$  que los de los datos españoles, lo que indica que su tendencia a la baja es sostenida en el tiempo, mientras que no permite establecer una tendencia clara en el caso español.

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



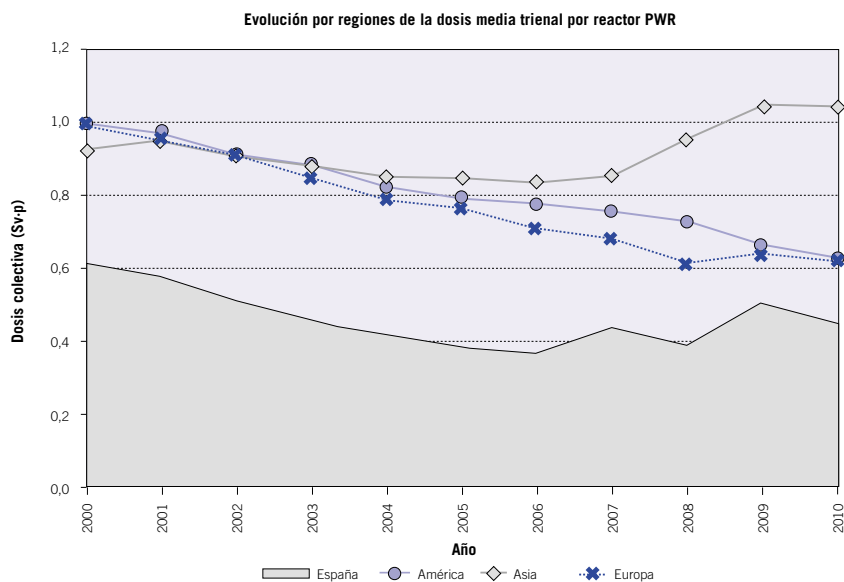
Como puede apreciarse en la gráfica 11, los valores de la dosis media trienal por reactor para los reactores tipo PWR en España durante el periodo 2000-2010 han seguido una tendencia decreciente hasta 2006 y un ligero aumento hasta 2009, lo que confirma el análisis realizado para el caso de la dosis media por reactor del párrafo precedente.

En el periodo 2000-2010 los resultados del parque español se han situado por debajo de

los de todas las regiones del ISOE, hecho que se produjo por primera vez en 1998. Esto es así tanto para la dosis media anual por reactor (excepto 2009) como para la dosis media trienal por reactor.

El periodo comenzó en 2000 con una dosis promedio anual para el grupo de PWR de  $0,59 \text{ Sv}\cdot\text{p}$  resultando ser el segundo mejor valor histórico. Este año se puede apreciar que continua el descenso de la dosis media

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



tras el recambio de los generadores de vapor afectado por la contaminación residual del antimonio en Almaraz I. Este valor es muy cercano al mínimo histórico de 1998, con la diferencia de que en ese año hubo cuatro paradas por seis en el 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 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.

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 periodo, 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. Durante la recarga, la central nuclear Ascó I tuvo problemas de contaminación de área en contención por I-131. Este hecho produjo la contaminación interna de varios trabajadores, aunque las dosis recibidas por dicha contaminación se encontraban, en todos los casos, por debajo del nivel de registro establecido en 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 los problemas de corrosión puestos de manifiesto en la tubería del sistema de agua de servicios esenciales.

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 periodo y el valor trienal volvió a suponer un mínimo histórico continuando con la tendencia decreciente. Ese año, la 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 2006 se produjo la parada definitiva de José Cabrera. La dosis de parada de recarga fueron debidas principalmente a los trabajos de movimiento de combustible. 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.

Tabla 4. Variación de la dosis entre los años 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 solo recargaron tres centrales PWR (el menor valor del periodo evaluado) frente a las cinco de 2007 o 2006. En Almaraz I y Trillo no se produjeron trabajos de recarga que supusieran incrementos elevados de dosis frente a recargas anteriores. Sin embargo, la dosis colectiva final en la decimoctava recarga de la central nuclear Ascó II fue un 24% superior a la anterior recarga de la misma unidad, debido a la realización de los trabajos de *Weld Over Lay* en las toberas del presionador.

2009 finalizó con el valor más alto del periodo 2000-2010 con 0,72 mSv·p, debido principalmente a que recargaron cinco unidades con dosis colectivas altas. Es de destacar que se está produciendo un repunte en las dosis colectivas de las tareas asociadas a los generadores de vapor que fueron sustituidos en los años 90. No obstante y tal como se indicó anteriormente, es de destacar en este año la dosis colectiva obtenida en la central nuclear de Trillo fue de 777 mSv·p, siendo el valor más alto del periodo de estudio debido al incidente del año 2008 relacionado con las tareas de inspección requeridas tras 20 años de operación comercial. La central nuclear de Almaraz tuvo para la unidad I el segundo valor más alto de dosis colectiva del periodo de estudio y para la unidad II el valor más alto, el incremento de estas dosis colectivas se

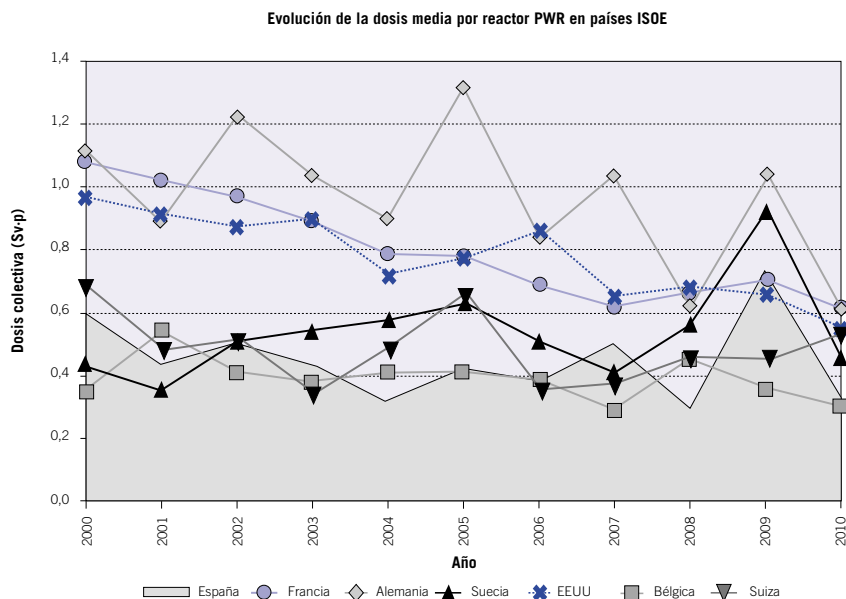
puede achacar en ambas unidades a los trabajos de *Weld Over Lay* y de las modificaciones realizadas en las válvulas de alivio del RH realizado en ambas unidades. En el caso de Vandellós II, se obtuvo el valor más alto del periodo de estudio con 1.211 mSv-p debido a trabajos en válvula y aislamiento.

En 2010, la dosis media anual por reactor fue 0,33 Sv-p y la media trienal 0,45 Sv-p, valores inferiores respectivamente a los de 2009. Ese año pararon para recarga tres plantas, siendo paradas estándar todas ellas. Dentro de las plantas que pararon para recarga, cabe destacar la vuelta a valores más habituales en la central nuclear de Trillo (paso de 777 mSv-p en 2009 a 338 en 2010), lo que favorece el descenso de la media. Las otras dos unidades que pararon para recarga

(Almaraz II y Ascó II) tuvieron valores similares a los de sus respectivas recargas anteriores (relativamente altos) debido al aumento de la duración de la recarga, mayor alcance de trabajos en válvulas, mayor inspección de tubos de los generadores de vapor y trabajos en inspecciones rutinarias y aislamiento para la cumplimentación de los requisitos indicados en el documento Generic Letter-2008.1 y mayor alcance de trabajos generales debido al incremento en el programa de supervisiones en planta.

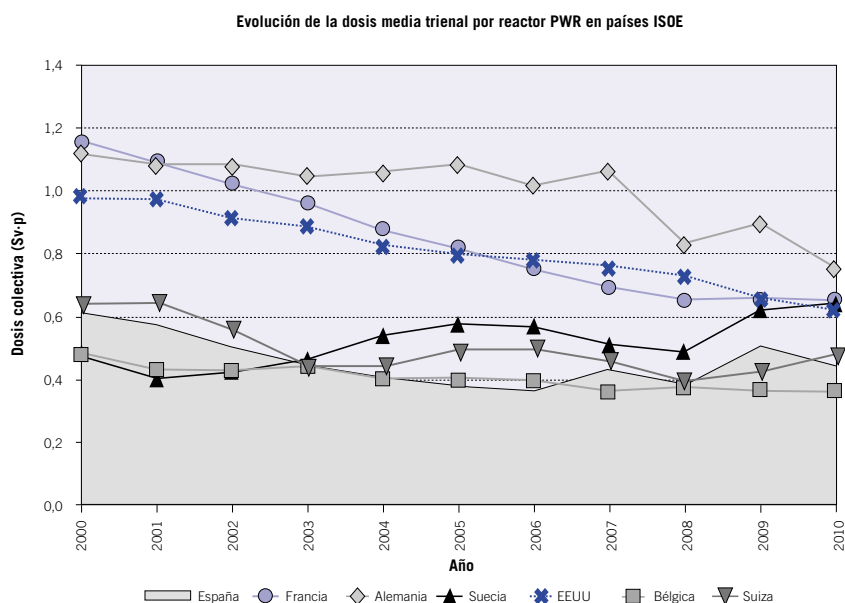
Cuando se realiza la comparación de la dosis media por reactor en el grupo PWR español frente a otros países con este tipo de reactor entre los cuales alguno está dentro de los grupos de centrales comparables a las españolas se obtiene la gráfica 12.

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



El comportamiento de las dosis colectivas anuales es muy similar al de Bélgica, Suiza y Suecia, y tiende a la convergencia al final del periodo con los resultados de Francia y Estados Unidos, lo que implica un aumento de las dosis a partir de 2006. Tanto en 2005 como en 2007 y 2009 hubo cinco paradas de recarga de reactores PWR en España, sin embargo, tal como se aprecia en la gráfica anterior, las dosis por recarga en dichos años fueron aumentando paulatinamente debido a un incremento en las inspecciones de los generadores de vapor, trabajos de *Weld Over Lay*, mayor alcance de mantenimiento, etc. En posteriores capítulos se realiza un análisis más detallado de los motivos de este incremento para cada central.

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.

Durante todo el periodo 2000-2010, la media trienal española presenta valores similares a los de Bélgica Suiza y Suecia como en el caso de la media anual. Durante este periodo, 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 y Suiza siendo los resultados de estos países los más bajos de todos los países bajo análisis.

Se han producido dos hechos muy relevantes en el periodo objeto de estudio. Por una

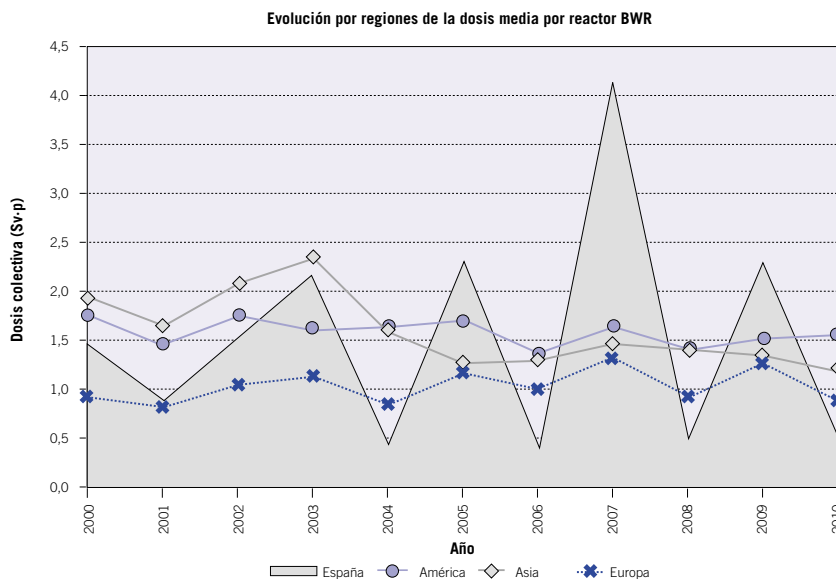
parte, se ha conseguido en España un mínimo histórico de dosis media trienal por reactor tipo PWR en 2006 (ver gráfica 13) con lo que logró situarse en el valor mínimo trienal de todos los países con centrales comparables. Por otra parte, se consiguió un mínimo absoluto de dosis colectivas anuales en 2008 con 0,29 Sv·p (ver gráfica 12) que también situó a España por debajo del resto de países. Estos hechos dan cuenta de la buena gestión Alara y del esfuerzo realizado por las centrales españolas en conseguir que las dosis sean Alara. En 2009 se ha producido un repunte asociado a las dosis colectivas, volviendo en

2010 a valores parecidos a los de años con igual número de recargas.

### 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.

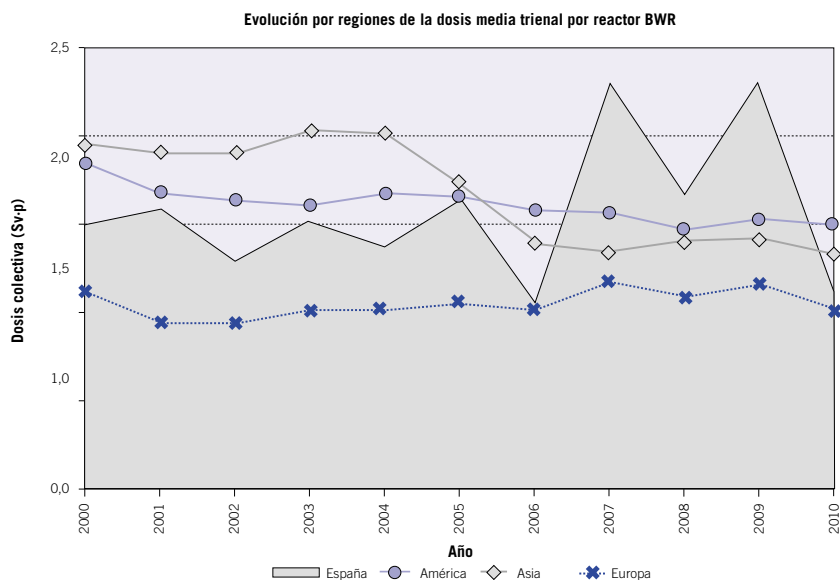
Gráfica 14. Dosis media de los reactores españoles tipo BWR frente a dosis media en las regiones del ISOE



Un factor decisivo a la hora de establecer las comparaciones del grupo de centrales BWR es que la media de dosis de los BWR españo-

les es muy sensible y fluctuante debido al ciclo de operación largo y al contar con solo dos reactores. Estas fluctuaciones quedan

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



suavizadas en el resto de las regiones y países considerados por contar con un número elevado de reactores.

Durante el periodo 2000-2010, deben distinguirse tres subperiodos 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 subperiodo, Santa María de Garoña ha parado 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 subperiodo abarca de 2003 a 2009 y se caracteriza por años alternantes en los que ambas centrales paran para recargas y años en los que no para ninguna. Finalmente en el año 2010 se realiza una parada de recarga rápida en la central nuclear de Garoña.

Tabla 5. Recargas en reactores BWR

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Garoña	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí
Cofrentes	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Total	1	1	1	2	0	2	0	2	0	2	1

A partir de mediados de los años 90, la central nuclear de Santa María de 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 en a realizar diversas descontaminaciones químicas en varios sistemas de la central en los años 2002, 2005 y 2009 que no obtuvieron los resultados deseados. Desde el comienzo del periodo 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 realización de grandes trabajos en las recargas. Todo ello ha implicado una mayor contribución de la central nuclear de Cofrentes (73% de la dosis total de los dos reactores BWR españoles) a la media durante el periodo 2000-2010.

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 periodo 2000-2010 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 especial la central nuclear de Cofrentes con dosis en recarga por encima de 2,4 Sv·p desde el año 2003. En todo el periodo 2000-2010, Garoña se encuentra en una banda de entre 0,8 y 1,34 Sv·p de dosis colectiva en las recargas. La central nuclear de Cofrentes obtiene el 73% de la dosis de los reactores BWR españoles, mientras que la central nuclear de Garoña el 27% restante.

En el caso de la media trienal la curva sigue un patrón en diente de sierra con un fuerte incremento en 2007 por las elevadas dosis ya comentadas en la central nuclear de Cofrentes, hecho que se refleja en la gráfica hasta 2009.

Tabla 6. Dosis colectiva media y media trienal en reactores BWR

Año	Número de paradas	Central en parada	Dosis anual Garoña (mSv·p)	Dosis anual Cofrentes (mSv·p)	Dosis colectiva media (Sv·p)	Media trienal (Sv·p)
2000	1	Cofrentes	311	2.634	1,47	1,50
2001	1	Garoña	1.286	471	0,88	1,60
2002	1	Cofrentes	249	2.795	1,52	1,29
2003	2	Cofrentes/Garoña	1.240	3.085	2,16	1,52
2004	0	Ninguna	227	700	0,46	1,38
2005	2	Cofrentes/Garoña	1.310	3.330	2,32	1,65
2006	0	Ninguna	173	646	0,41	1,06
2007	2	Cofrentes/Garoña	1.548	6.749	4,15	2,29
2008	0	Ninguna	353	654	0,50	1,69
2009	2	Cofrentes/Garoña	1.726	2.896	2,31	2,32
2010	1	Garoña	556	491	0,54	1,12

La situación de los reactores españoles BWR 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.

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 en el periodo 2000-2006. Sin embargo, en el trienio 2007-2009 como consecuencia de los trabajos en los CRDH en Cofrentes, las dosis están muy por encima, especialmente en los años con recarga.

La mayoría de centrales BWR europeas difieren en el diseño de las norteamericanas 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 norteamericanas. Europa ha venido mostrando las dosis más bajas por reactor. Las medias trienales españolas se

encuentran entre un 5% (año 2006) y un 100% (años 2007 y 2009) por encima de las medias trienales europeas en el periodo 2000-2010.

En cuanto a la región Asiática, únicamente un reactor, Fukusshima Daiichi 1, es comparable a las centrales BWR españolas, en particular a Santa María de 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 periodo 2000-2004, Asia fue la única región que superó los 2 Sv·p de dosis media anual por reactor (años 2002 y 2003) y de dosis media trienal (2003 y 2004). En la región asiática, en 2003 se produjo el máximo del periodo 2000-2010 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, 2008 y 2009, la media a tres años supera en España la de los reactores asiáticos por el hecho ya comentado de Cofrentes. Esta tendencia se invierte en 2010 al desaparecer de la media trienal las dosis de los trabajos de sustitución de los CRDH y no haber recarga en Cofrentes

y una pequeña parada de recarga de 12 días en Garoña.

El periodo 2000-2010 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.

En 2001, también paró para recarga una sola central, este año la de 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 después 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 periodo 2000-2010 solo 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 de los lazos A y B y del sistema G33 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 periodo 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 ele-

mentos combustibles dañados. Durante la parada se tomaron medidas en los puntos BRAC que eran coherentes con la evolución esperada en los lazos A y B, pero no así en el sistema G33 tras la descontaminación química llevada a cabo durante 2005. En el sistema G33 ya se podía apreciar un nuevo incremento en las tasas de dosis.

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. Se observó además, de nuevo, una recontaminación del G33 (ver gráfica 27) que hizo subir considerablemente las tasas de dosis. En este año ambas centrales recargaron combustible y terminó 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 terminó 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.

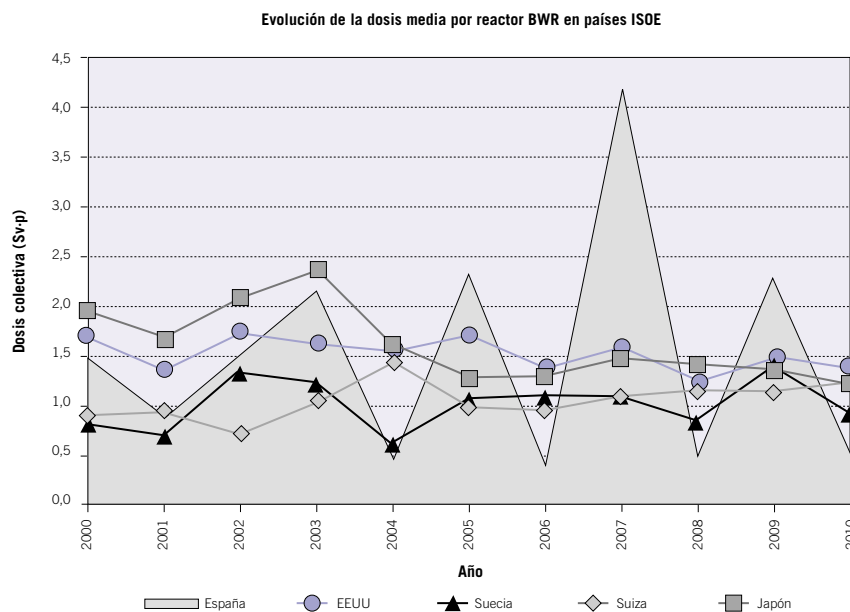
El año 2009 terminó con 2,31 Sv·p de dosis media y 2,32 de media trienal ya que ambas de las centrales pararon para recarga.

En el valor de la media trienal sigue influyendo el resultado de 2007 de la central nuclear de Cofrentes. La dosis en recarga en la central nuclear de Cofrentes fue de 2.420 mSv·p por debajo de las recargas de 2003 y 2005, pero superiores a las recargas del periodo 1996-2002. En este año se produjo la descontaminación del G33 (ver gráfica 27) para intentar reducir nuevamente las tasas de dosis. Los trabajos de inspecciones de rutina fueron los que más contribuyeron al total de dosis en la recarga de 2009 con 651 mSv·p, el mayor valor del periodo de estudio. La dosis colectiva en la recarga de la central nuclear de Garoña fue de 1.340 mSv·p, también el mayor del periodo de estudio.

En 2010 también paró para una pequeña recarga de 12 días una sola central, Santa María de Garoña. Por este motivo la media anual del grupo BWR, que fue de 0,52 Sv·p, disminuyó sensiblemente respecto al año anterior y la media trienal, 1,11 Sv·p pasó a ser la mitad de la del año anterior. Se podría decir que este año fue un año de operación normal para ambas centrales por lo que no es comparable al año anterior.

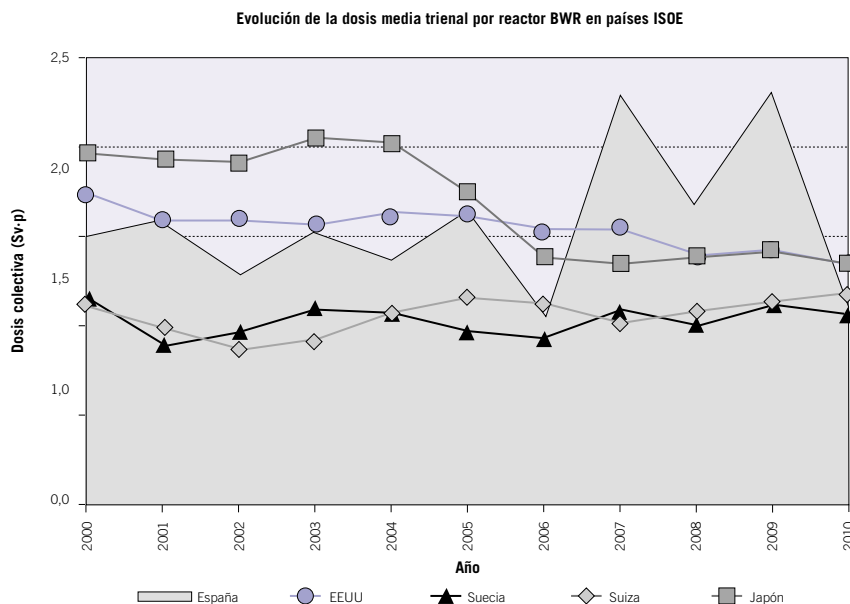
Cuando se realiza la comparación de la dosis media por reactor en el grupo BWR español frente a otros países con este tipo de reactor entre los cuales alguno está dentro de los grupos de centrales comparables a las españolas se obtiene la gráfica 16:

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



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.

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 centrales 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 al igual que las centrales suizas. Durante el periodo 2000-2009 las dosis de las centrales suecas y suizas se sitúan claramente por debajo de las españolas. Sin embargo, esta tendencia se ha invertido en 2010 debido a la desaparición del efecto de los trabajos de sustitución de los CRDH y a la ausencia de recarga en ambas centrales 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 Cofrentes (inicio en 1984). La tendencia de las dosis colectivas de ambas centrales 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.

Para más información respecto a periodos anteriores, se puede consultar el informe Interdós 2000-2008 en la página web del CSN.

#### IV.1.1. Central nuclear de Santa María de Garoña

Históricamente, 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 Garoña con uno de los mejores resultados tanto de dosis anual con y sin recarga como de dosis media trienal, no solo entre su grupo de centrales comparables sino también del mundo.

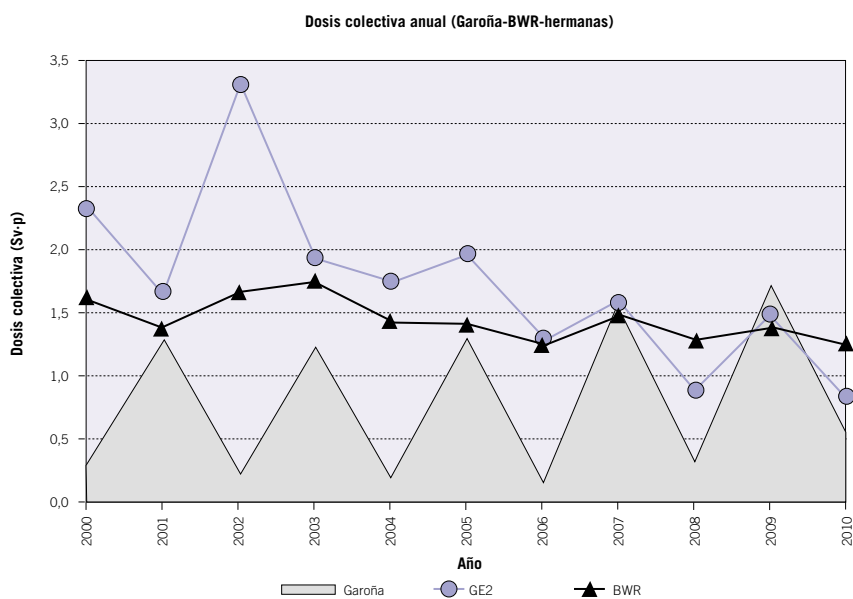
Como puede apreciarse en la gráfica 19, durante el periodo 2000-2010 muestra una tendencia al alza de las dosis en los años que ha existido recarga. En el año 2001 la dosis estuvo alrededor de 1,3 Sv·p, en el año 2007 esta fue de 1,55 Sv·p y en el año 2009 fue de 1,73 Sv·p. Entre los motivos de esta tendencia al alza es de destacar el proceso de esperable recontaminación paulatina del primario (ya que la última descontaminación se realizó en 1999) y al mayor alcance de los trabajos en las paradas de recarga. Las dosis en años sin recarga tuvieron un mínimo en 2006 con 0,17 Sv·p y desde entonces se han ido incrementando.

Para las dosis anuales (gráfica 18), 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). Es de destacar que desde el año 2007 la central nuclear de Garoña supera a la de las centrales hermanas GE 2, y a las centrales BWR en los años con recarga.

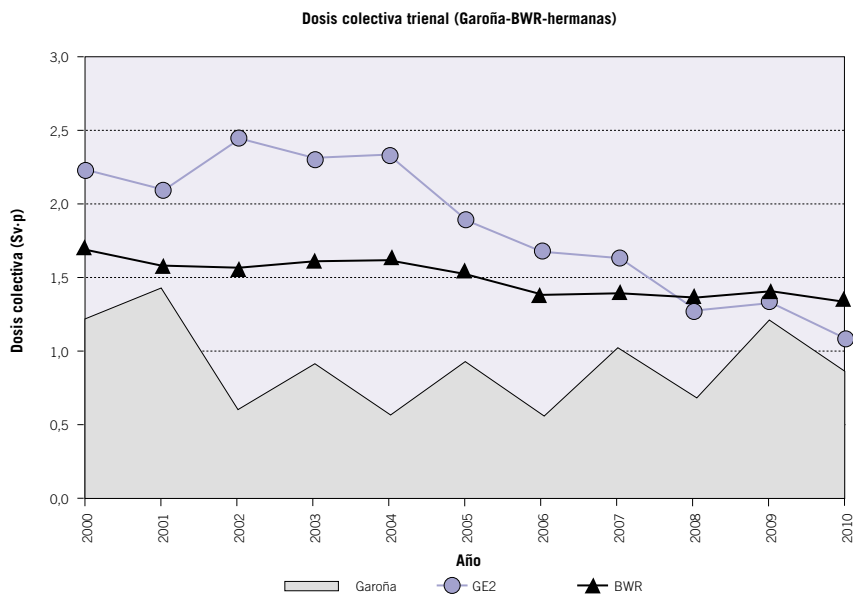
En cuanto a la evolución de la dosis media trienal, representada en la gráfica 20, presenta forma de dientes de sierra en función de

que en el trienio en cuestión se consideren una o dos recargas ya que Garoña tiene ciclos de recarga de 24 meses.

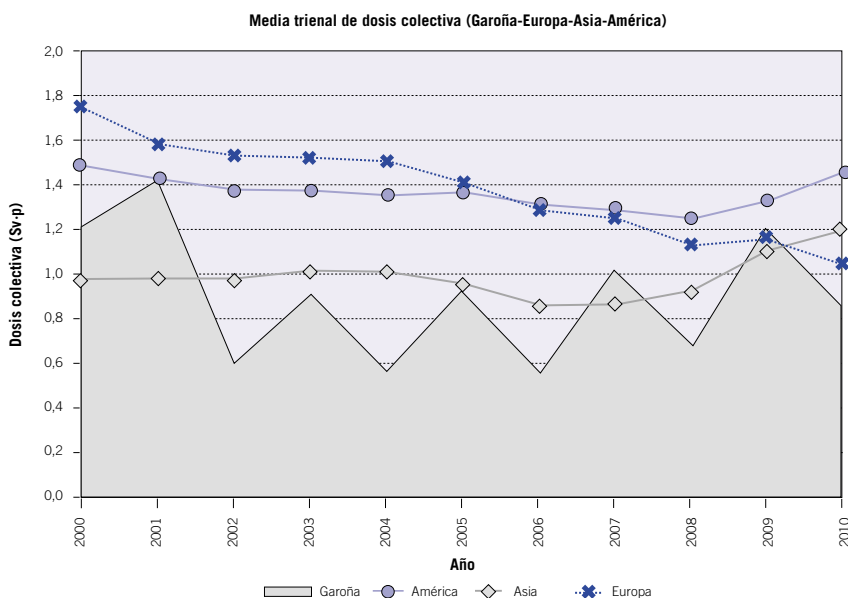
Gráfica 18. Evolución de la dosis colectiva anual de la central nuclear de Santa María Garoña frente a su grupo de centrales comparables (GE2) y reactores BWR en el mundo



Gráfica 19. Evolución de la dosis colectiva media trienal de la central nuclear de Santa María Garoña frente a su grupo de centrales comparables (GE2) 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



En este periodo, Garoña presenta una media trienal inferior a la de los reactores BWR y a los de sus centrales hermanas del grupo GE2 aunque convergente con ambos grupos de centrales.

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 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 en la instalación 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).

El periodo 2000-2010 se han producido los menores valores de dosis colectivas de la historia de la planta tanto para un año de recarga (1,24 Sv·p en 2003) como para un año sin parada de recarga (173 mSv·p en 2006). Después de esos años se ha producido un ligero repunte en ambos casos. En el año

2010, se realizó una recarga muy pequeña con lo que las dosis colectivas anuales se situaron en 585 mSv·p.

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 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

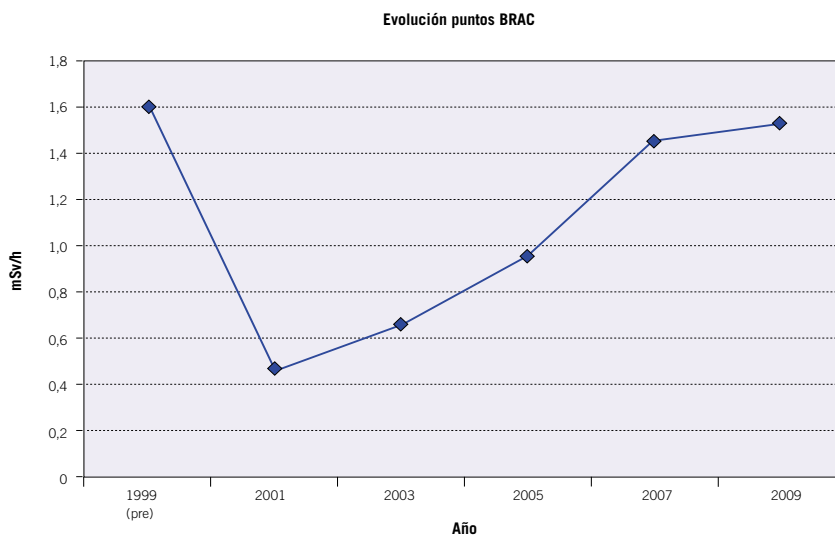
GE, mediante un código de transporte de cobalto, predecía una tasa de dosis media de los puntos BRAC para la parada de 2001 de 0,9 mSv/h. (BRAC: BWR Radiological Control and Assessment, son cinco puntos estándar de media por lazo tomados a 40 horas de la parada del reactor). La dosis media real para 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 la siguiente gráfica se puede apreciar la evolución de las tasas de dosis en los puntos BRAC.

En 2002, la media trienal fue la más baja de la historia de la central marcando además otro hito: situarse por debajo del 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 del 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.

Gráfica 21. Evolución de las tasas de dosis en los puntos BRAC



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 1,31 Sv·p y la dosis operacional de recarga fue de 1,1 Sv·p. El resultado de 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 suponiendo 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.

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.

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 2009 se produjo una parada para recarga con una dosis colectivas de 1,34 Sv·p, siendo esta la más alta del periodo de estudio 2000-2010. Entre los motivos de esta tendencia alcista cabe indicar el esperable proceso de recontaminación paulatina del primario (ver gráfica 21) así como un mayor alcance de los trabajos de recarga. Es de destacar que en el año 1999 se realizó la única descontaminación desde entonces del circuito primario, y

en consecuencia, se ha producido el lógico incremento gradual de las tasas de dosis. La dosis colectiva anual fue de 1,73 Sv·p.

En 2010 se produjo una pequeña parada para recarga con una duración total de 12 días, siendo la dosis colectivas de 271 mSv·p y la anual de 560 mSv·p.

En definitiva, y pese al ligero incremento de los últimos años, puede decirse que los buenos resultados que viene consiguiendo Santa María de Garoña son fruto de las actuaciones que desde 1993 viene desarrollando Nucleonor con vistas a la plena integración de la protección radiológica en la planificación y ejecución de las actividades de la central.

Desde el punto de vista internacional, y con anterioridad al año 2000, Garoña presentó un descenso significativo en las dosis. Anteriormente a 1999 la dosis colectiva anual y en recarga era siempre superior a su grupo (GE2) y tipo de reactor (BWR).

En el periodo 2000-2010, Garoña presenta una media trienal inferior a la de los reactores BWR y a los de sus centrales hermanas del grupo GE2, aunque convergente con ambos debido al descenso de las centrales del grupo GE2 y BWR y al ligero repunte de Garoña. 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 GE2



(excepto en 2009), y en los años que no hay recarga en los que las dosis de Garoña son inferiores a ambos grupos.

En cuanto a la comparativa por regiones, Garoña presenta valores similares a los de Asia y por debajo de los de América y Europa, aunque convergente con este último al final del periodo.

#### 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 del 111,85%.

El periodo 2000-2010 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 ve interrumpida en 2006, año sin parada de recarga. Sin embargo, se produjo de nuevo un elevado incremento en las tasas de dosis en el pozo seco medidas en 2007 por la recontami-

nación del G33, que coincidiendo con el gran alcance de la parada de 2007, principalmente debida a la modificación de los CRDH, originaron unas dosis superiores a los 4 Sv·p que no se observaban en la central desde mediados de la década de los 90 y que han situado a la central nuclear de Cofrentes en clara desventaja en el contexto internacional.

El periodo 2000-2010 comenzó con un incremento en la dosis anual con respecto al año 1999, año en que también hubo parada. La media trienal del 2000 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·persona empleadas y por la complejidad de las operaciones y volumen de materiales a sustituir. Se produjo un incremento de los niveles de radiación en el pozo seco aumentando el nivel medio de radiación 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 periodo 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 solo efectuar 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 cen-

tral 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 sipping y extracción de LPRMs.

En 2003, la dosis anual de la central nuclear de Cofrentes fue 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 periodo 2000-2008. La media trienal fue 2,1 Sv·p continuando con la tendencia alcista iniciada en el comienzo del periodo. 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 el 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 gruesas 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 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 recirculación 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 la 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 número 2, motivo por el que fue necesario programar su sustitución antes del arranque del ciclo 16. Este trabajo fue el que más se benefició radiológicamente de la descontaminación química realizada en el B33.

Relacionado con la dosis individual, durante la recarga decimo quinta 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 (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 los 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 646 mSv·p, la segunda más baja del periodo que se vio beneficiada de los buenos resultados de la descontaminación llevada a cabo en la parada de 2005. La media trienal fue 1,6 Sv·p, la más baja del periodo 2000-2008, y una de las más bajas de la historia de la central solamente superada en buenos resultados por la primera media trienal (1985-1987). 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.

Ese año 2006 se produjo una parada no programada de 10 días (23 de abril de 2006 a 3 de mayo de 2006) 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 tasa de dosis (por la recontaminación del G33) durante la parada afectó considerablemente a la estimación inicial de dosis, de por sí ya elevada por el alcance de los trabajos y 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. La inesperada recontaminación del sistema G33 hizo plantearse la posibilidad de una nueva descontaminación para la recarga de 2009.

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

En este año se produjo el segundo valor más alto de dosis en operación normal ya que se

realizaron seis paradas para la ejecución de trabajos de mantenimiento, con un coste de 238 mSv·p y se iniciaron los trabajos del proyecto de aumento de capacidad de la piscina de combustible este, con una dosis recibida de 34,45 mSv·p. La dosis recibida en adecuación de cubículos en este año fue de 63,96 mSv·p

En el año 2009 se produjo la decimoséptima parada para recarga que terminó con una dosis colectiva de 2.420,71 mSv·p, reduciendo este valor respecto al de la anterior recarga. En cuanto a la dosis colectiva anual esta fue de 2,9 Sv·p, siendo la media trienal de 3,43 Sv·p. Hay que tener en cuenta que esta media trienal está muy influida por los resultados obtenidos en el año 2007.

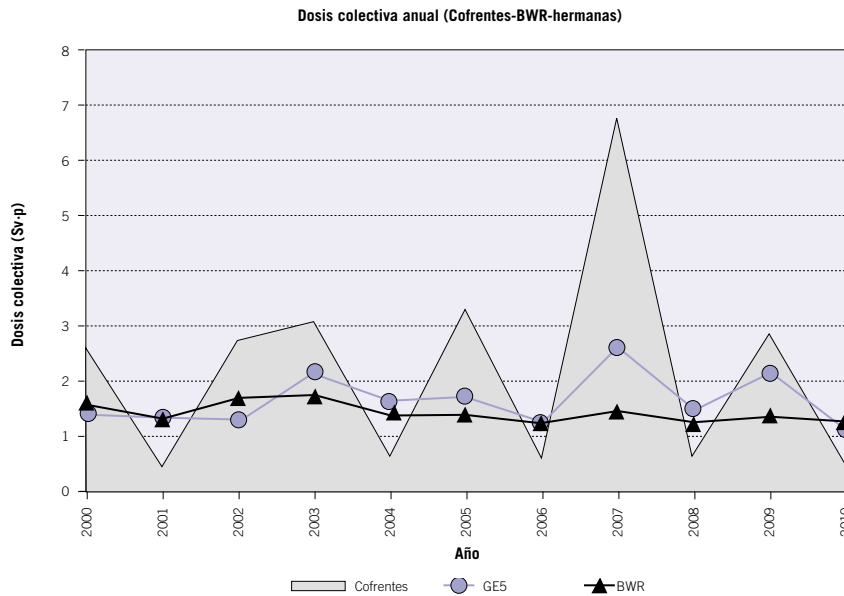
En la recarga se realizó la descontaminación del lazo interior del sistema de limpieza de agua del reactor (G33) con un factor de descontaminación medio de 41. Esto favoreció la realización de trabajos sobre estos sistemas y a nivel general en el pozo seco, donde las tasas de dosis en área se redujeron en las cotas inferiores. Hay que destacar que en la decimoéptima recarga se acometieron también otros trabajos que deberían contribuir en el futuro en la reducción de dosis siguiendo el criterio Alara, tales como instalación de blindajes permanentes en el pozo seco y cubículos varios, así como acondicionamiento de cubículos del pozo seco, con un coste radiológico conjunto de 293,3 mSv·p.

En el año 2010, fue un año sin recarga ni paradas durante el ciclo y se obtuvieron dosis colectivas anuales de 490,80 mSv·p (el segundo más bajo del periodo analizado) y media trienal de 1,35, el más bajo de dicho periodo. El proyecto de adecuación de cubículos de la central supuso 36,74 mSv·p y el resto de trabajos de operación normal: 454,07 mSv·p.

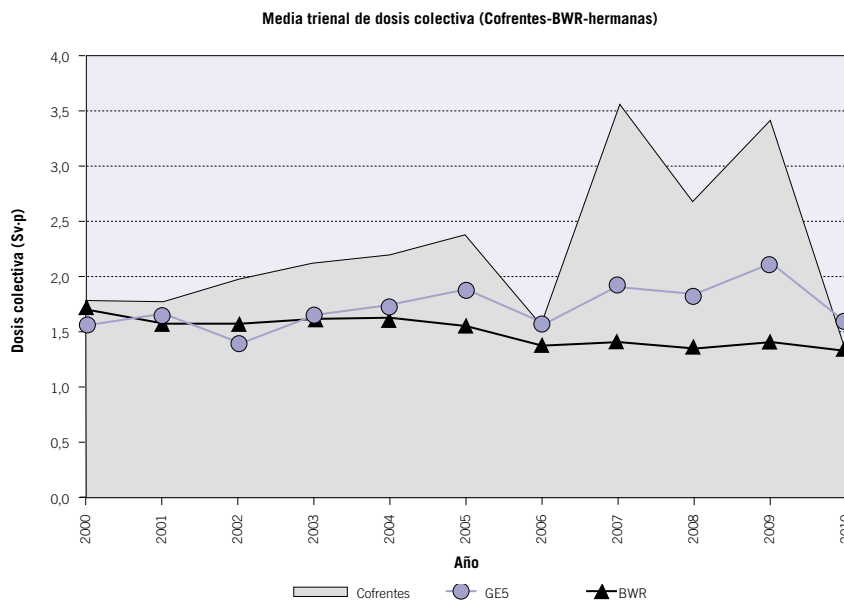
En el contexto internacional, como puede apreciarse en las gráficas 22 y 23, la posición de la central nuclear de Cofrentes durante el periodo 2000-2010 es la más desfavorable desde su puesta en marcha, con dosis anuales para los años de parada de recarga y dosis media trienales por encima tanto de las de su grupo de centrales comparables (GE5) 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 26% por encima de la media trienal para sus centrales gemelas y un 53% por encima de la media trienal para todas las centrales BWR.

Gráfica 22. Evolución de la dosis colectiva anual de la central nuclear de Cofrentes frente a su grupo de centrales comparables (GE5) 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 (GE5) y reactores BWR en el mundo



Salvo en 2006 y 2010 en que la dosis media trienal es menor al considerarse en su cálculo una única recarga y no contabilizar la de

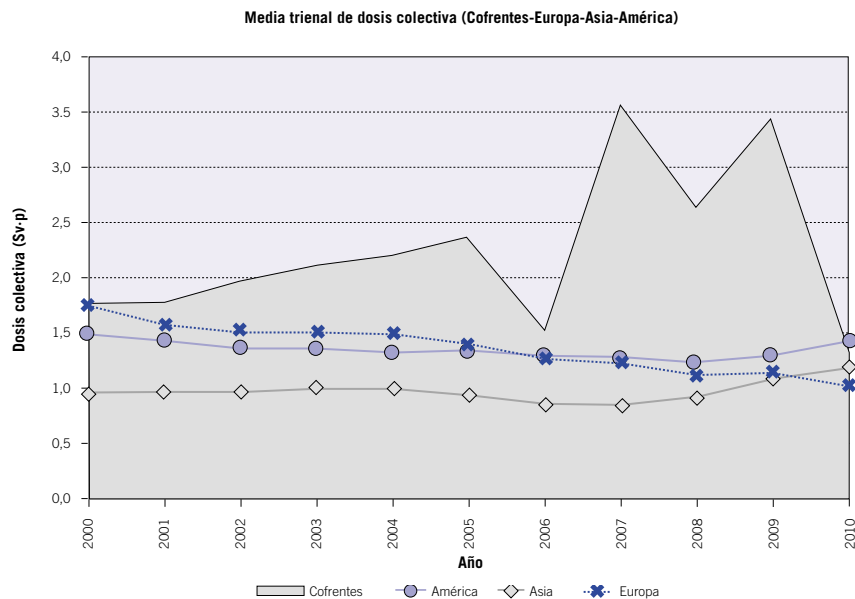
2007, la dosis media trienal ha acentuado su diferencia respecto tanto a las centrales BWR como a sus centrales gemelas. En el año 2008

estas diferencias era un 46% superior a la media del grupo GE5 y duplicaba las dosis del conjunto de BWR. En el año 2009 Cofrentes registró valores un 62% superiores a los de las centrales hermanas, y un 143% por encima de las centrales BWR.

El año 2010 ha supuesto una vuelta a valores menores al desaparecer del cálculo la influencia de la recarga de 2007 y haber en el trienio 2008-2010 una sola recarga.

En relación con las dosis de las centrales americanas, 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 hasta 2009 (ver gráfica 23), dicha media trienal se sitúa por encima de la media americana. En 2010 esta tendencia cambia al obtenerse valores de media trienal para Cofrentes de 1,35 Sv·p y 1,44 para las centrales americanas.

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



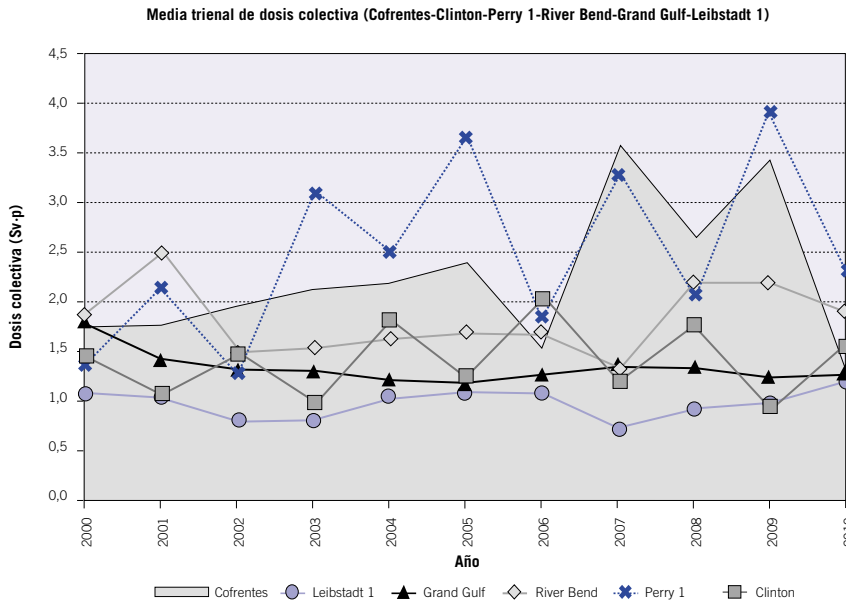
Con respecto a las centrales europeas, el caso es similar a la comparativa con las centrales americanas.

Considerando las dosis medias trienales a nivel de reactor para todas las centrales de

su grupo GE5, la central nuclear de Cofrentes ha ido perdiendo posiciones desde mediados de los años 90. Desde 2002 (ver gráfica 25) únicamente la central de Perry 1, que ha sufrido un incremento importante en sus dosis desde el año 2000,



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



se encuentra con dosis medias trienales similares e incluso en algunos años superiores a la de la central nuclear de Cofrentes. En la gráfica 25 se puede ver la evolución de las centrales nucleares de Cofrentes y Grand Gulf. Como puede apreciarse, respecto a esta central, los resultados dosimétricos no son solo superiores desde el año 2000 sino que la distancia entre ambas centrales ha ido aumentando desde esa fecha (excepto en 2006 y 2010 donde los valores son similares).

Este gráfico pone de manifiesto que el descenso en las dosis colectivas de todas las centrales hermanas americanas de CNC ha sido mayor que el observado en las dosis colectivas de CNC en los últimos años. Mientras que, por ejemplo, en Grand Gulf el prome-

dio de dosis en el periodo 1988-1999 era el mismo que el de CNC, en el periodo 2000-2009 el promedio de dosis colectiva en la central nuclear de Cofrentes fue un 73% por encima del de Grand Gulf.

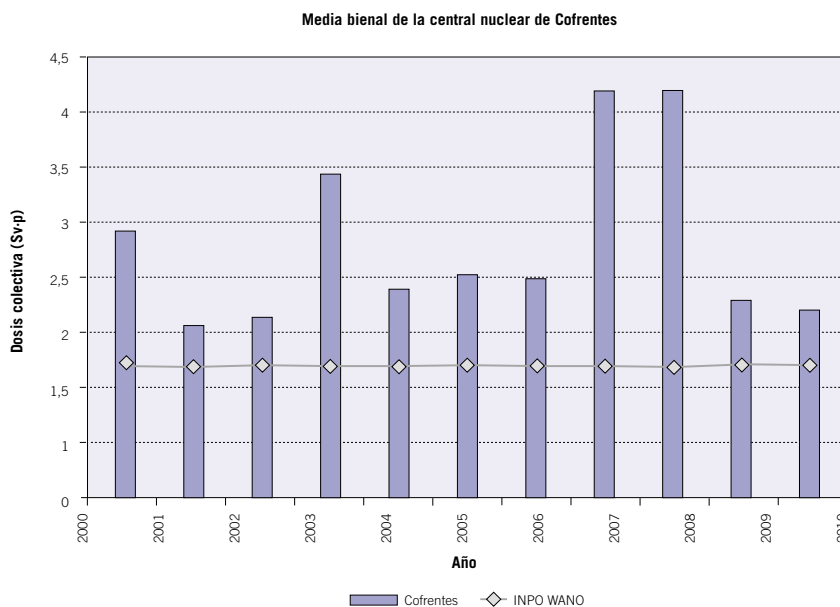
Este hecho es similar en las otras centrales ya que todas presentan una disminución en porcentaje con respecto a los valores de dosis de CNC, lo que parece indicar que los esfuerzos realizados por las centrales hermanas americanas de CNC han sido más efectivos en la reducción de dosis que los realizados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

A parte de lo anteriormente indicado es de destacar el objetivo fijado por INPO WANO. Dicho objetivo se establece en 1,2 Sv-p/año y está referido a la duración total del ciclo de combustible. Incluye siem-

pre la dosis de recarga y por tanto ahora estos indicadores no son anuales, son el promedio de un ciclo de combustible con cómputo trimestral. Así por ejemplo, para un ciclo de 24 meses, se suman los ocho cómputos tri-

mestres del ciclo y el indicador sale de dividir esa suma por ocho. Lo más parecido al cómputo del objetivo de INPO/WANO es la media bienal, que se refleja a continuación en la siguiente gráfica:

Gráfica 26. Evolución de la dosis media bienal de la central nuclear de Cofrentes frente al objetivo fijado por INPO WANO



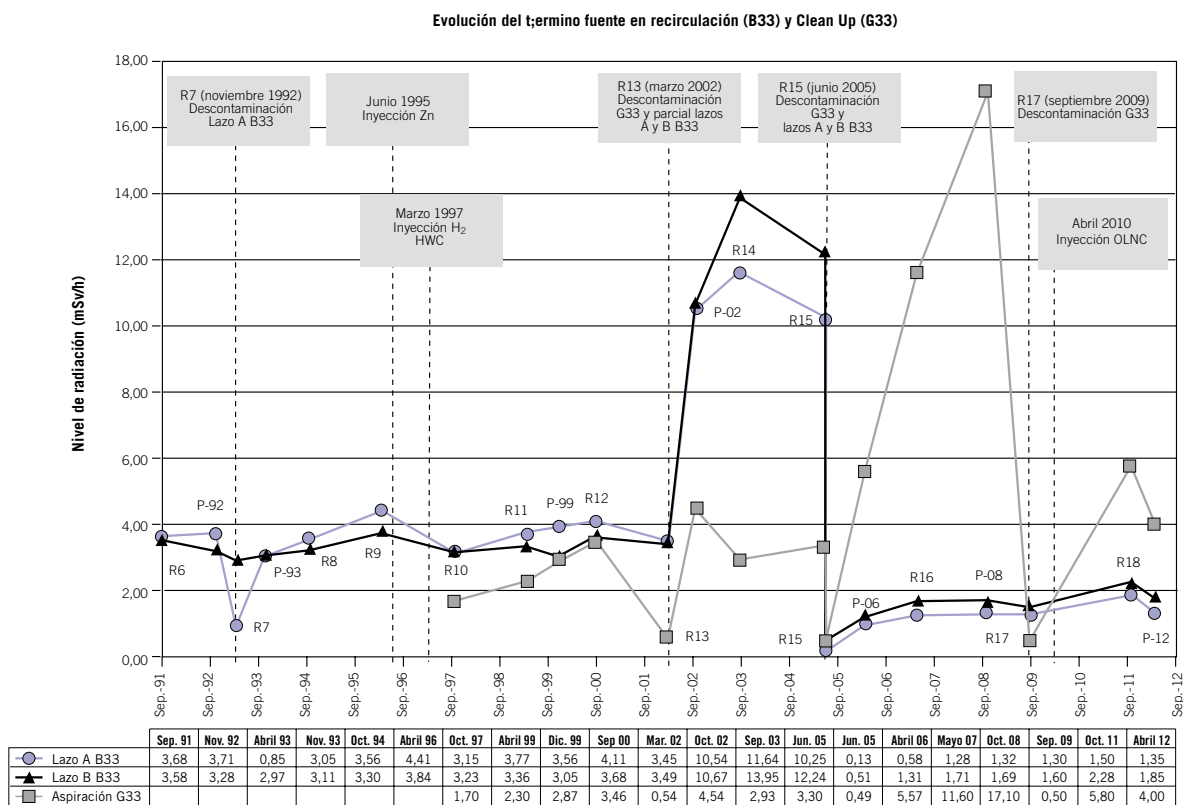
Como se observa en la anterior gráfica, la central nuclear de Cofrentes se sitúa en el periodo de estudio 2000-2010, siempre por encima del objetivo marcado por INPO WANO.

Por último, se presenta la evolución del término fuente en los sistemas de recirculación y del *Clean Up* donde se pueden apreciar las sucesivas descontaminaciones (años 2002, 2005, 2009) y recontaminaciones (medidas

en las recargas de 2003, 2007 y 2011) de dichos sistemas.

En definitiva, esta central está siendo objeto de especial atención por parte del CSN en relación con la implantación del principio Alara, en particular con vistas a 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.

Gráfica 27. Evolución del término fuente en recirculación (B33) y Clean Up (G33)



## IV.2. Centrales PWR

Durante el periodo 2000-2010, siete reactores tipo PWR estuvieron en operación, cesando uno de ellos (José Cabrera) su actividad para iniciar el desmantelamiento en 2006. No se incluye en el presente informe la evolución de esta central ya que se puede encontrar en los informes Interdós anteriores.

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 espa-

ñola estaba compuesta solo por la central nuclear José Cabrera que inició su operación en 1968, la segunda generación de plantas PWR española la integraban las centrales nucleares Almaráz 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 de 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 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.

Para más información respecto a periodos anteriores, se puede consultar el informe Interdós 2000-2008 ([www.csn.es](http://www.csn.es)).

#### IV.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 de media para las dos unidades en 1985 hasta el entorno de 0,7 Sv·p para los últimos años con recarga.

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 periodo 2000-2010, las dos centrales han parado seis de los nueve años, siendo los años sin recarga para Almaraz I, 2001, 2004, 2007 y 2010 y para Almaraz II, 2002, 2005 y 2008.

Para ambas centrales, como puede apreciarse en las gráficas siguientes (28 a 31), la evolución histórica ha estado marcada, tras el cambio de los generadores de vapor, por una tendencia decreciente de la dosis colectiva anual hasta el año 2005 donde se rompe esta tendencia tanto para Almaraz I como para Almaraz II. Desde 2005, la tendencia es al alza, aunque en ninguna de las dos unidades se ha vuelto a valores del inicio de la década. A la vista de resultados de dosis colectivas de los años 2011 y 2012 parece que se podría volver a recuperar valores más bajos de dosis colectivas.

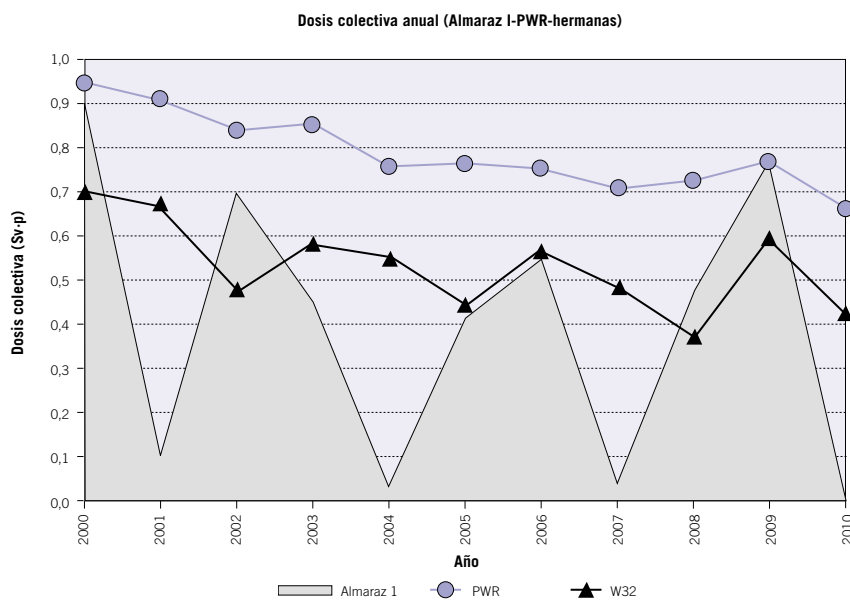
En 2000, ambas centrales pararon para recarga. La dosis anual de Almaraz I fue 918 mSv·p, correspondiendo 787 mSv·p de dosis operacional a los trabajos de recarga. La media trienal fue 860 mSv·p. Tanto la dosis de recarga como la dosis anual constituían los valores mínimos en su historia para un año 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 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

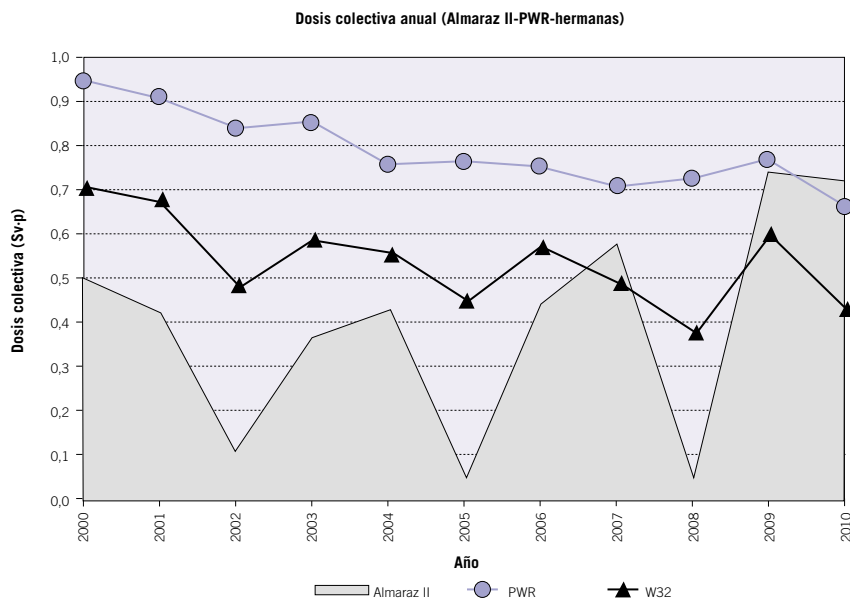
tendencia decreciente debido a los factores ya expuestos, se vio favorecido por la menor duración y menor número de horas por persona de la parada junto con una disminución

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.

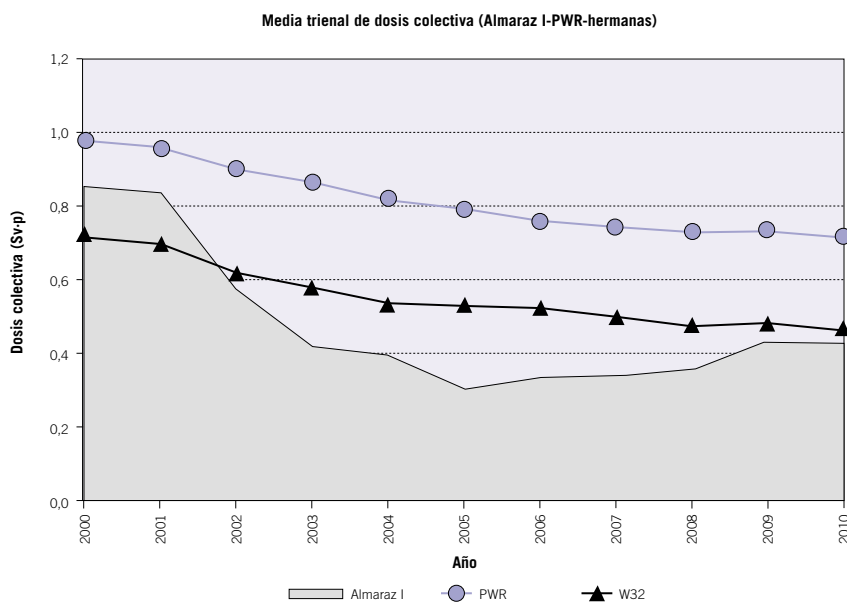
Gráfica 28. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Almaraz I frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



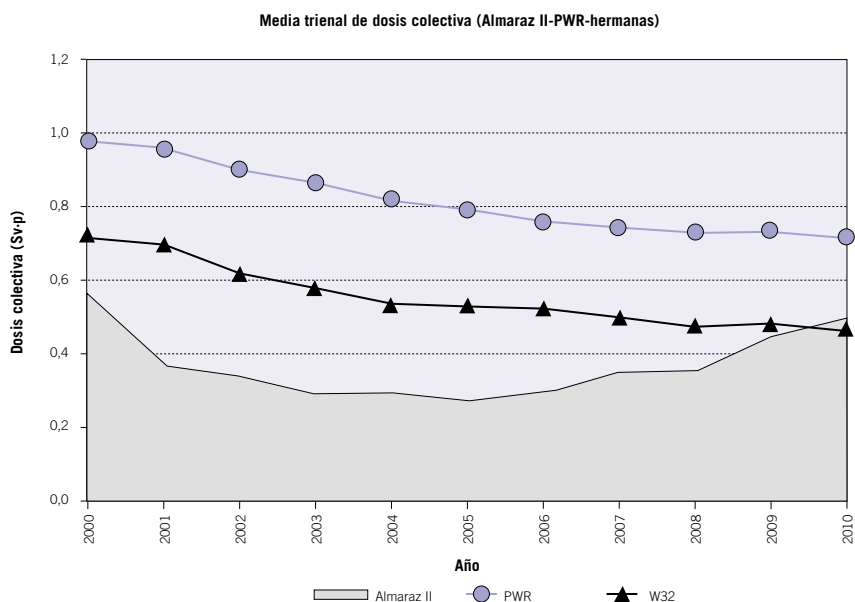
Gráfica 29. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Almaraz II frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Gráfica 30. 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 31. 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 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 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 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 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 además 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 al hecho que ese año, 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. 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.

En 2005, únicamente realizó parada de recarga Almaraz II. Los resultados para esta unidad en el año 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 44 mSv·p y la dosis media trienal 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 336 mSv·p y la de Almaraz II 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 particu-

lares 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 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 en 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.

En el año 2009 se produjo una parada para recarga en ambas unidades, obteniéndose en el caso de la unidad I una dosis colectiva de recarga de 729,993 mSv·p (parte de esta recarga se realizó durante el año 2010) y en la unidad II de 696,305 mSv·p. Es de destacar que para la unidad I se obtuvo el segundo valor más alto del periodo de estudio y para la unidad II el valor más alto, siendo para la unidad I de 772 mSv·p y para la unidad II de

739 mSv·p. El incremento de estas dosis colectivas se puede achacar, en ambas unidades, a los trabajos de *Weld Over Lay* y de las modificaciones realizadas en las válvulas de alivio del RH. En la unidad II, por su significación radiológica, cabe destacar los trabajos de inspección y taponado de tubos en los generadores de vapor.

En el año 2010 solamente paró para recarga la unidad II. La dosis colectiva anual para la unidad I fue de 27 mSv·p el más bajo obtenido por esta unidad. En cuanto a la unidad II, la dosis colectiva de la recarga fue de 710 mSv·p (incluye parte del año 2011) y la dosis colectiva anual fue de 722 mSv·p. La dosis colectiva en la recarga de la unidad II fue superior debido a los trabajos de inspección de los tres generadores de vapor, extracción de dos tubos en el GV3, taponado de tubos en los tres generadores de vapor, limpieza y eliminación de lodos en los tres generadores de vapor mediante agua a media y baja presión, así como limpieza química del secundario de dichos generadores de vapor; sustitución y modificación de válvulas de seguridad del presionador e instalación de línea de drenaje, y los trabajos de limpieza del recinto de contención.

Se quiere destacar la importancia que están alcanzando los trabajos en generadores de vapor en relación con la evolución de las dosis globales en la central nuclear de Almaraz, así como el incremento relativo de estos trabajos respecto a recargas anteriores. El

comportamiento de los tubos de los generadores de vapor, transcurridos 10 años desde su sustitución, conlleva la realización de trabajos de inspección y reparación que explican dicha situación. En principio, no es esperable una tendencia a la baja en esta actividad mientras que la situación se mantenga.

No obstante, y analizando los datos de 2011 y 2012, parece que los valores de dosis en recarga están volviendo a ser inferiores a los obtenidos en las recargas de 2009 y 2010 (entorno a 450 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 segunda generación, la tercera parte de las centrales se encuentran emplazadas en España.

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

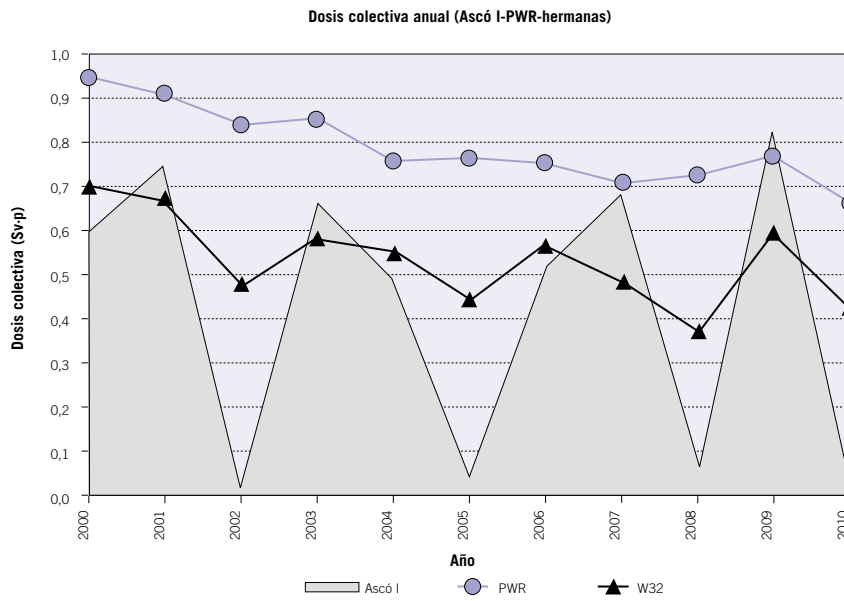
4-5 años a principios de los 90, por encima de la media de todos los reactores PWR. A partir de 2000 para Almaraz II y de 2002 para Almaraz I esta situación se invierte situándose ambas centrales con dosis inferiores no solo a la de todos los reactores PWR sino también a la media de sus grupos de centrales comparables. En el año 2010, la dosis colectiva trienal para la unidad II, es muy similar a la de las 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.

Estas medias trienales presentan un repunte desde 2005 (mientras que los grupos de PWR y W32 decrecen hasta converger con los valores de ambas unidades en el caso del grupo W32) debido, tal y como se indicó anteriormente, al incremento en las tareas de los generadores de vapor y de las modificaciones realizadas en las válvulas de alivio del RH realizado en ambas unidades. No parece en todo caso que este repunte se alargue en el tiempo teniendo en cuenta los valores de dosis en recarga de los años 2011 y 2012.

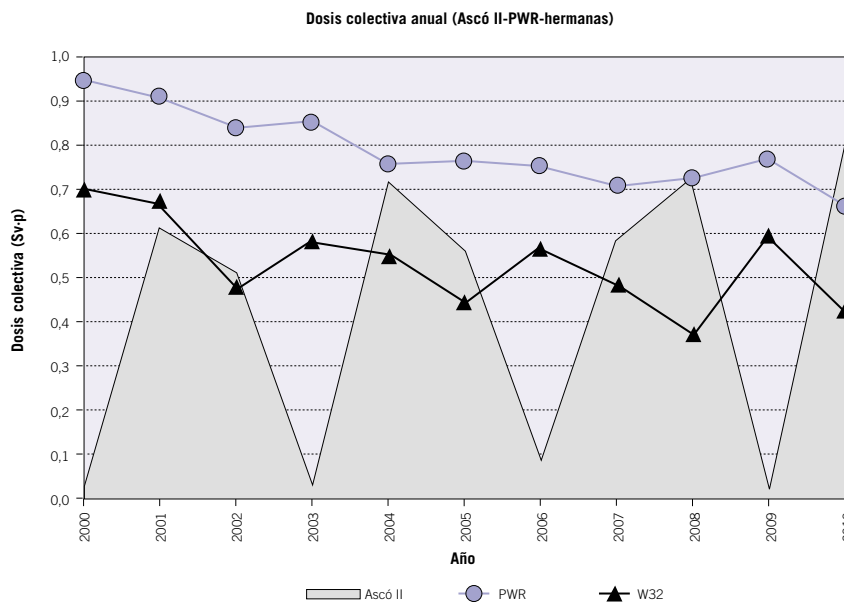
#### IV.2.2. Central nuclear Ascó I y II

Para ambas centrales, como puede apreciarse en las gráficas siguientes (32 a 35), la tendencia general de la dosis colectiva es de estabilidad.

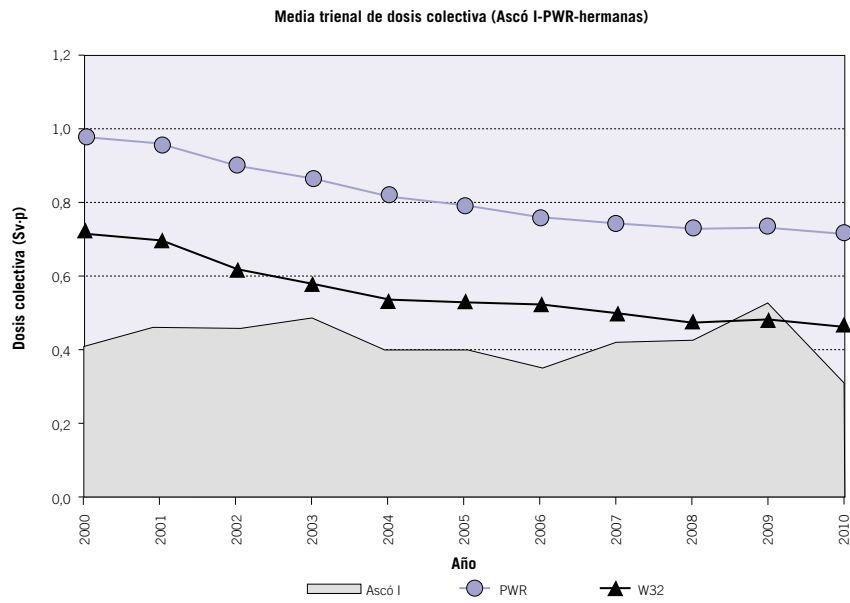
Gráfica 32. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Ascó I frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



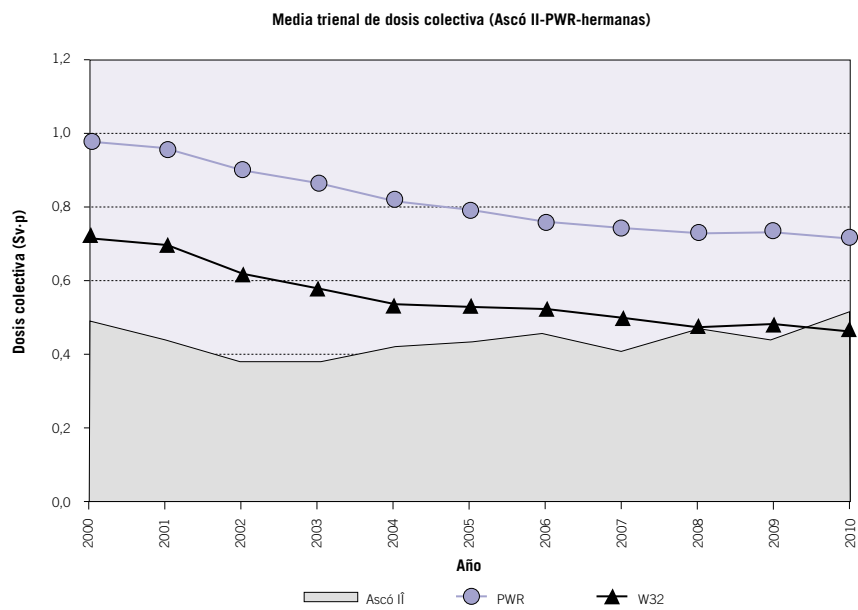
Gráfica 33. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Ascó II frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Gráfica 34. 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 35. 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



En 1998, tras el cambio de los generadores de vapor, 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 de 1 Sv·p.

El periodo 2000-2010 ha estado marcado para Ascó I por una evolución estable de la dosis media trienal, salvo en el año 2009 que sufre un ligero aumento debido a trabajos no rutinarios, modificaciones de diseño y requisitos de mantenimiento aplicables a la vigésima recarga. 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 (debido a la parada no programada por el suceso de liberación de partículas), volviendo en 2010 a 29 mSv·p (año en que para el cálculo de su media trienal solo entra una parada de recarga, hecho que se puede observar en la gráfica 32). En cuanto a los periodos con recarga es de destacar que la recarga del año 2009 es la mayor dosis colectiva presenta con 826 mSv·p por los motivos ya comentados. Este hecho junto con los trabajos del *Weld Over Lay* en la recarga de 2007 explican los dos picos más destacables de la gráfica de dosis colectiva anual (2007 y 2009).

En el caso de Ascó II, el periodo 2000-2010 ha estado marcado por una tendencia general estable de la dosis colectiva anual con un repunte anual en 2004, 2008 y 2010 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 2008 se realizaron trabajos de *Weld Over Lay* en las toberas del presionador y en el año 2010 este aumento es debido al aumento de las tareas en los generadores de vapor. En 2005, si bien la dosis colectiva disminuyó respecto al año con recarga anterior, no se mejoraron los resultados con los que comenzó el periodo 2000-2010. La media trienal de esta unidad en el periodo se caracteriza por tendencia estable, aunque parece mostrar un ligero repunte en el año 2010 terminando el periodo considerado prácticamente igual que al inicio de la década.

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 periodo 2000-2010 las dos unidades han parado siete de los nueve años, siendo los años sin recarga para Ascó I, 2002, 2005, 2008 y 2010 y para Ascó II, 2000, 2003, 2006 y 2009.

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 Ascó o 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 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 750 mSv·p, correspondiendo 688 mSv·p de dosimetría operacional a los trabajos de recarga. La media trienal fue 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 608 mSv·p, correspondiendo 555 mSv·p de dosimetría operacional a los trabajos de recarga, mientras que la media trienal fue 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 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 suponía, 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 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 periodo 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 30 mSv·p y la media trienal 383 mSv·p.

En 2004, se volvía a repetir el esquema del 2001 en el cual las dos centrales realizaron parada de recarga. La dosis anual de Ascó I fue 494 mSv·p y la de Ascó II 716 mSv·p. La dosis en recarga de Ascó I fue de 448 mSv·p y la de Ascó II 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 los 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 SPR 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 periodo 2000-2008. En cuanto a la media trienal su valor era el más alto desde el 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 con objeto de mejorar el acceso al lazo A para la realización

de trabajos rutinarios y evitar montar y desmontar andamios en el generador de vapor y las bombas del refrigerante del reactor.

En 2005, únicamente realizó parada de recarga Ascó II. La dosis anual de esa unidad fue 565 mSv·p y la media trienal 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 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 establecida 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 periodo 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 realizó parada para recarga únicamente Ascó I. Para esta unidad, la dosis anual fue 512 mSv·p, correspondiendo 477 msv·p a la dosis de recarga. La media trienal resultaba ser 351 mSv·p. El resultado de dosis anual era el segundo más bajo desde la sustitución de los generadores y del periodo 2000-2008. La media trienal suponía el valor más bajo en la historia de la central. En cuanto a la unidad II de la central nuclear de Ascó, la dosis anual fue 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.

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 motivado por la parada no programada como consecuencia del suceso de liberación de partículas) y 723 mSv·p para la unidad II que realizó parada para recarga (valor más alto del periodo evaluado). Los valores de la unidad II son principalmente atribuibles a las tareas de *Weld Over Lay* (WOL).

En el año 2009 solo recargó la unidad I con una dosis colectiva final de 854 mSv·p, esto muestra una tendencia alcista respecto a otros años anteriores siendo el de este año 2009 el más alto del periodo de estudio. Entre los motivos destacables para este valor más alto de dosis colectiva se encuentran el aumento de las dosis en las tareas relacionadas con los generadores de vapor, y con una extraordinaria dosis colectiva en la tarea relacionada con el Sistema de eliminación del calor residual e inyección de seguridad, para la cual apenas se había superado los 5 mSv·p, obteniéndose en esta recarga 61,18 mSv·p. Los motivos de dicha desviación se atribuyeron a diferentes problemas en una modificación de diseño que consistía en el aumento de la capacidad de alivio de las válvulas V-14012 y la V-14013. La media trienal de la unidad I aumentó ligeramente en este periodo.

En cuanto a la unidad II la dosis colectiva para este periodo fue 23 mSv·p, siendo el valor más bajo del periodo de estudio.

En el año 2010 solo recargó la unidad II con una dosis colectiva final de 757 mSv·p, esto muestra una tendencia alcista respecto a otros años anteriores achacables a los trabajos realizados en los generadores de vapor durante la recarga. Se ha modificado el alcance de los trabajos en los generadores de vapor. En el lado primario se ha pasado de la inspección por corrientes inducidas de un generador de vapor y alcance medio del 50%,

a inspecciones de los tres generadores de vapor y alcance del 100% en cada generador. En el lado secundario se ha pasado de realizar sludge-lancing cada tres ciclos a hacerlo cada ciclo. En cuanto a la unidad I la dosis colectiva anual se situó en 29 mSv·p.

Es de destacar que en los últimos periodos con recarga se muestra una tendencia alcista de las dosis colectivas en las tareas relacionadas con los generadores de vapor para ambas unidades, por lo que el CSN, muestra un especial interés en que se efectuó un especial seguimiento para esta tarea por parte de la central.

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 segunda generación, la tercera parte de las centrales se encuentran emplazadas en España.

Tanto para la unidad I como la unidad II, durante el periodo 2000-2010 se ha producido una convergencia de las dosis media

trienal de las dos unidades con el grupo de centrales W32 que muestra valores decrecientes con el tiempo. Ascó I se ha situado en 2009 por encima del grupo W32 aunque se encuentra por debajo en 2010. Ascó II obtiene valores convergentes con las centrales W32, no obstante, ambas unidades mantienen una situación ventajosa respecto a las centrales PWR.

No ocurre lo mismo cuando se observa la dosis colectiva anual. Para ambas unidades la dosis colectiva anual para el periodo 2000-2010 se encuentra ligeramente por encima del grupo W32 los años con recarga siendo inferior los años sin recarga. Cuando se comparan ambas unidades con el conjunto de los reactores PWR se encuentra un descenso en los valores de dosis colectiva de éstos y se aprecia que las dosis anuales de las dos unidades en conjunto se han ido acercando paulatinamente (e incluso han superado) a las del grupo PWR. Se observa que la media del grupo de centrales hermanas ha visto una evolución general decreciente que la central nuclear de Ascó no ha seguido en la misma proporción. No obstante, la interpretación de valores anuales es siempre más complicada que la de la media trienal ya que esta última evita los dientes de sierra característicos que se observan en las gráficas de valores anuales y que dificultan su interpretación. La media trienal permite por tanto una mejor comparativa global.

#### IV.2.3. 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 donde se pasó a 15 meses para cambiar al año siguiente en 1997 a una duración de 18 meses. Al igual que en el caso de Almaraz, Ascó y Cofrentes, para el periodo de estudio, 2000-2010, 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 periodo 2000-2010, 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, 2007 y 2009. 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 la central 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 es de destacar 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 sus 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 periodo 2000-2010 no muestra una tendencia estable en los años con recarga, p.ej en el año 2000 la dosis colectiva era de 958 mSv·p, en el año 2003 fue de 584 mSv·p, mientras que en el año 2009 se obtuvo el valor más alto del periodo de estudio con 1.176 mSv·p (aunque este valor podría ser atribuible a trabajos extraordinarios en la recarga como se verá más adelante). En cuanto a la tendencia de la dosis media trienal es decreciente hasta 2006 y creciente hasta 2010. Los valles que se observan en 2008 y 2010 se deben a que se incluye solo una recarga en el cálculo de la dosis media trienal correspondiente a dichos años. La dosis media trienal en los años sin recarga (2001, 2004, 2006, 2008 y 2010) presenta también valores decrecientes hasta 2006 y crecientes hasta el final del periodo de estudio.

En 2000 se realizó una parada de recarga. La dosis colectiva anual fue 958 mSv·p de los

cuales 816 correspondieron a los trabajos de recarga. La media trienal de la dosis colectiva fue 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 año hubo un cambio en el sistema de dosimetría operacional por dosímetro de lectura directa (ambos marca MGP) variando el nivel de registro de una recarga a la otra, pasando de 10  $\mu$ Sv/entrada en 1997 a 1  $\mu$ 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 periodo 1990-2000. El incremento de los niveles de radiación en planta<sup>1</sup> 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.

<sup>1</sup> 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 generadores de vapor y presionador.

- 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 paro para recarga. La dosis colectiva anual fue 28 mSv·p, del mismo orden pero ligeramente superior a la del año 1998, primer año sin parada desde el inicio de operación de la central. Dicho incremento se vió posiblemente influenciado por el incremento de las tasas de dosis en planta medidas en la recarga de 2000. La dosis media trienal fue 704 mSv·p prácticamente igual que la del año 2000.

En 2002, la central paró para recarga. La dosis colectiva anual fue 964 mSv·p de los cuales 515 mSv·p correspondieron a los trabajos de recarga. La dosis media trienal fue 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 el CSN se consideró necesario requerir formalmente a la Dirección de la central que a través del Comité Alara 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 584 mSv·p, de los cuales 515 mSv·p correspondieron a los trabajos de recarga. Ambos valores supusieron mínimos históricos en la historia de la central. La dosis colectiva media trienal fue 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.

2004 fue el tercer año sin parada de recarga desde el comienzo del nuevo ciclo de 18 meses. La dosis colectiva anual fue 52 mSv·p lo que supuso casi el doble que la dosis de 2001, anterior año sin parada. La dosis colectiva media trienal fue 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 782 mSv·p de los cuales 729 mSv·p correspondieron a trabajos de recarga. La dosis media trienal fue 473 suponiendo un importante descenso respecto al año anterior. Durante el periodo 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 en 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 encontra-

dos después de finalizar el mantenimiento previsto.

- Realización de actividades relacionadas con la inspección de estructuras y componentes en 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 267 mSv·p y la media trienal 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 del 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 del 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) hizo esperar que las medidas emprendidas en 2003 pudieran ser efectivas. Sin embargo, la duración de la recarga llevó consigo un incremento en las dosis colectivas asociadas a trabajos generales lo que no permite que los buenos resultados en la reducción de tasas de dosis en el primario se vean reflejados en los resultados globales. 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, 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.

El año 2009 viene caracterizado por tener el valor de dosis colectiva anual más alto del periodo de estudio con 1.211 mSv·p, siendo la dosis colectiva por recarga de 1.122 mSv·p. El motivo de que se diese una dosis colectiva más alta se debió, fundamentalmente, al incremento en la dosis colectiva operacional en los trabajos de “válvulas” y en el “aislamiento” de la recarga. Estos incrementos se atribuyen a aumento de alcance en el mantenimiento correctivo de válvulas y alcances no previstos en la reposición de aislamiento en tuberías inspeccionadas en cumplimiento de la Genneric Letter 2008/01, ya que se retiró gran cantidad de aislamiento no reflectivo, con mantas de fibra o silicato cuya reposición llevó más tiempo de lo previsto. Además, en este año se realizaron una serie de trabajos en zonas de alta tasa de dosis tales como el *Weld Over Lay*, taponado de tubos de los generadores de vapor, cambio de los pocetes de los detectores de temperatura (RTDs) de las tres ramas frías del circuito primario, mantenimiento correc-

tivo en válvulas del primario y del sistema de evacuación de calor residual, etc. La media trienal en este año fue de 676 mSv·p valor próximo al del año 2007.

El año 2010 fue un año sin recarga, registrándose valores de dosis colectiva de 79 mSv·p, los mayores de la década en años sin recarga. Esto fue debido a una parada no programada de 10 días motivada por una anomalía en el sistema de barras de control lo que conllevó trabajos en el edificio de contención. La media trienal fue de 441 mSv·p.

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 presente que dichas centrales son de diseño más antiguo y por ello, en principio, con mayores dosis colectivas.

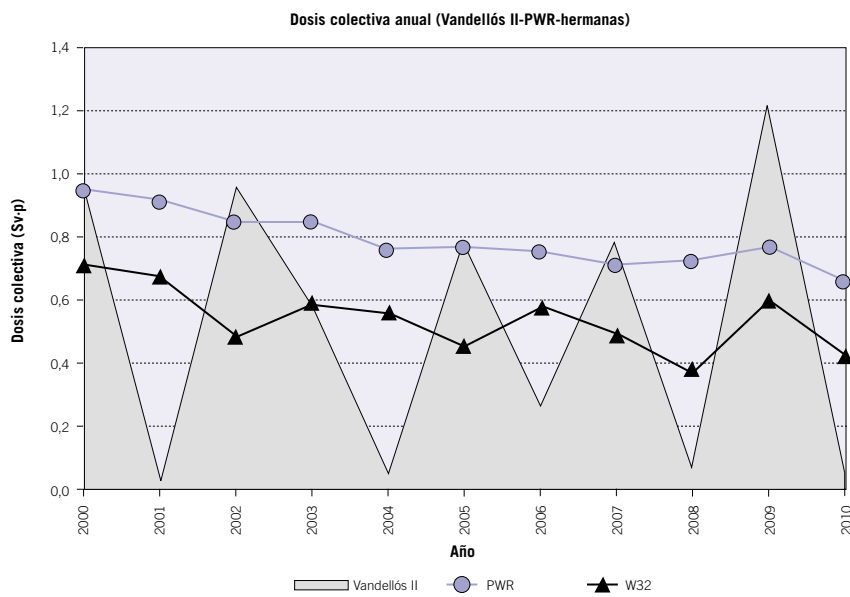
Si se observa la gráfica 37, se puede apreciar que la evolución de Vandellós II era parecida a la de los reactores W32 hasta el año 2006. A partir de entonces, Vandellós II supera al grupo W32 en los años con recarga y es inferior en los años sin recarga. Como ya se ha comentado, la tendencia de los reactores



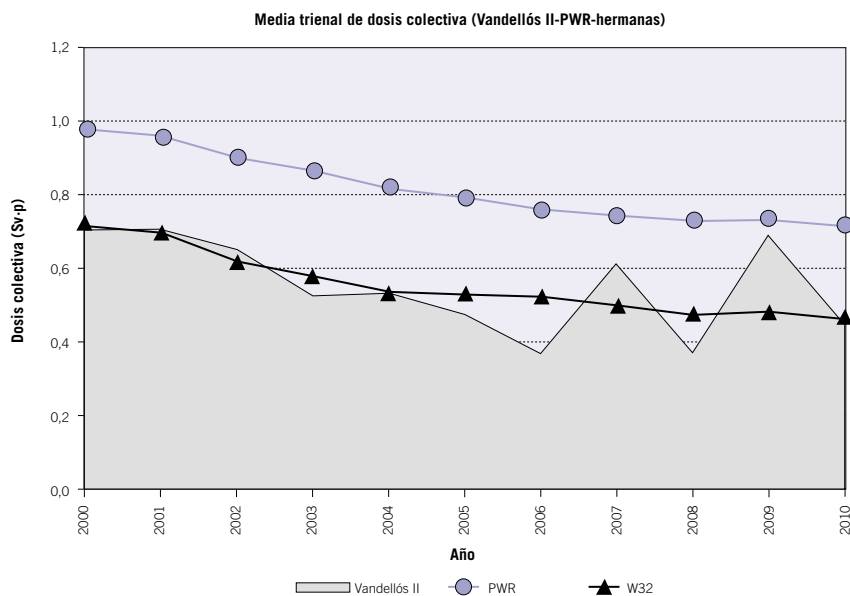
PWR en general ha sido decreciente lo que sumado al incremento de las dosis medias

trienales de Vandellós II ha hecho converger ambas curvas.

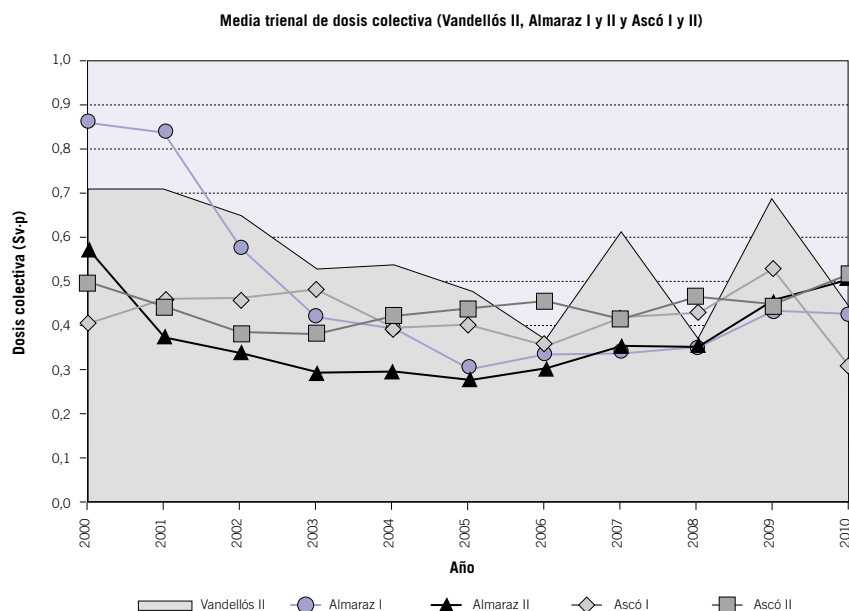
Gráfica 36. Evolución de la dosis anual de la central nuclear Vandellós II frente a su grupo de centrales comparables y reactores PWR en el mundo



Gráfica 37. 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



Gráfica 38. Evolución de la dosis media trienal de Vandellós II frente a las centrales españolas de su grupo ISOE



Si comparamos la evolución de las centrales PWR españolas (ver gráfico 38) durante el periodo 2000-2010, 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. Cabe destacar del citado gráfico los siguientes hechos:

- Desde 2002 los valores de dosis colectivas son superiores a los de Almaraz I
- Los valores de Vandellós II son superiores a los de Almaraz II excepto en el año 2010 (con una sola recarga en el trienio para Vandellós II).

- Con respecto a Ascó I y II son únicamente inferiores en los años en los que la media trienal incluye una sola recarga.

#### IV.2.4. 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 periodo de construcción se incorporaron a su diseño sistemas y redundancias propias a la tercera generación de Siemens de cuatro lazos (S43) por lo que a nivel internacional se comparará con ambos grupos de centrales del ISOE.

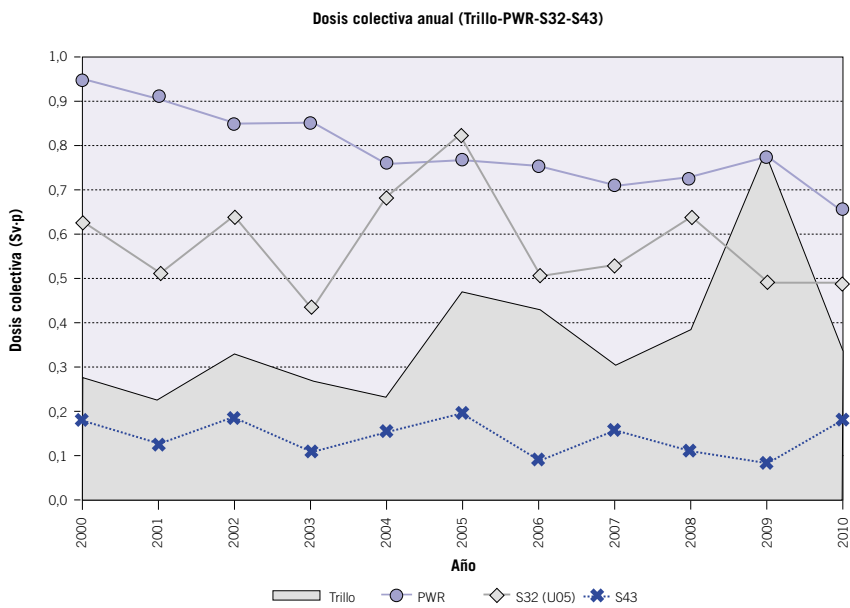
La dosis colectiva en recarga es el contribuyente casi único a la dosis colectiva anual por lo que las formas de las gráficas de la dosis colectiva anual y de la media trienal son similares. Este hecho explica además que en el caso de la central nuclear de Trillo, se da la circunstancia que en ciertos años, la dosis colectiva anual, que es la dosis oficial, sea inferior a la dosis colectiva en recarga que es operacional.

El periodo 2000-2004 se caracterizó 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 periodo. Esta tendencia se rompió en 2005 cuando la dosis colectiva alcanzó los 467 mSv·p. Para el periodo 2005-2008 la dosis colectiva anual

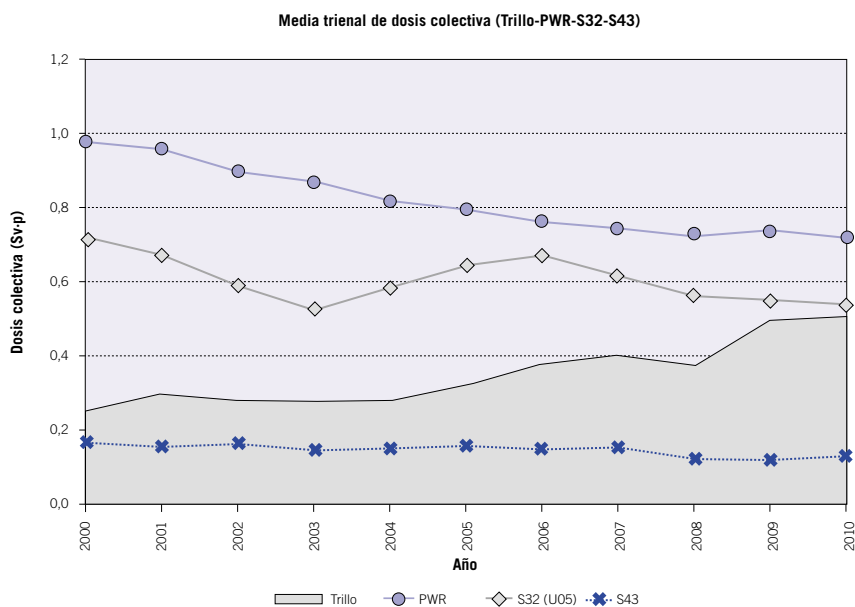
se sitúa en el entorno de 400 mSv. En el año 2009, se ha producido un valor de dosis colectiva de 777 mSv·p que se puede considerar muy alto para esta central, estabilizándose nuevamente en el año 2010 con 338 mSv·p.

El incremento de la dosis colectiva en 2009 fue debido a las actividades realizadas en la parada para recarga, en la que se ejecutaron las tareas de inspección requeridas tras 20 años de operación comercial, el cambio de las válvulas de primer aislamiento del circuito primario del reactor y la inspección de dos bombas principales. Los resultados de 2010, 2011 y 2012 indican que la instalación ha vuelto a valores más habituales en esta central.

Gráfica 39. 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 40. 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 el año 2001 se consiguió un mínimo histórico de dosis con 225 mSv·p.

En general, se observa un aumento de las dosis desde el inicio del periodo de estudio, tanto para las dosis anuales como para la media trienal.

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

En 2001, la dosis colectiva anual fue 225 mSv·p. y la media trienal de la dosis colectiva fue 291 mSv·p. La dosis colectiva de recarga fue 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 327 mSv·p y la media trienal de la dosis colectiva fue 275 mSv·p. La dosis de recarga fue 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 al aumento de actividades de limpieza y descontaminación de 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 266 mSv·p y la media trienal de la dosis colectiva fue 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.

En 2004, la dosis colectiva anual fue 230 mSv·p y la dosis media trienal 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 467 mSv·p y la dosis media trienal 321 mSv·p. La dosis de recarga fue 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 si sola incrementó en 107 horas el camino crítico de la recarga.

En 2006, la dosis colectiva anual fue 429 mSv·p. La dosis asociada a la recarga fue 452 mSv·p y la media trienal de la dosis colectiva fue 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.

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 registra 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 de Tareas relacionadas con la extracción e inspección de una barra de control, trabajos realizados sobre las bombas principales consistentes e inspección del 100% de tubos de dos generadores de vapor.

El año 2009 registró el valor más alto de dosis colectiva de todo el periodo de estudio (777 mSv·p), siendo la dosis colectiva la segunda mayor de la historia de la central, solo superada por la del año 1991 (donde se realizó la revisión completa de las tres bombas principales más la recarga de combustible, además de un aumento de los niveles de radiación debido a la presencia de Sb-124, originado por la activación de componentes).

El aumento en la dosis colectiva se debió fundamentalmente a las tareas de inspección requeridas tras 20 años de operación comer-

cial lo que implicó necesariamente un incremento respecto a las dosis en 2008.

En 2010 la dosis colectiva anual fue 338 mSv·p. La dosis asociada a la recarga fue 213 mSv·p y la media trienal de la dosis colectiva fue 499 mSv·p. La dosis anual de ese año supuso un fuerte descenso con respecto al año anterior.

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 tres lazos, grupo ISOE S32) en toda su operación, superándolos de forma puntual en 2009. 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 por encima de las dosis anuales de las centrales de cuatro lazos de la tercera generación. 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 por debajo de dicha media. No obstante, las dosis medias trienales tienden a converger con las del grupo S32 y en menor medida con las de los reactores PWR, aunque como se ha comentado se espera que esta tendencia cambie en los próximos años, cuando deje de tener influencia en el cálculo el valor de 2009.

## V. Conclusiones

## V. Conclusiones

El informe Interdós 2000-2010 ha presentado la evolución de la exposición ocupacional de las centrales nucleares españolas durante el periodo 2000-2010 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.

Para más información respecto a periodos anteriores, se pueden consultar los informes Interdós anteriores en [www.csn.es](http://www.csn.es).

Durante el periodo 2000-2010, 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 instrucciones del CSN directamente relacionadas con la protección radiológica ocupacional: IS-01, IS-02; IS-03, IS-04, IS-06, IS-08, IS-10, IS-20, IS-24 e IS-29; la armonización del contenido y alcance de los manuales de protección radiológica de las centrales españolas

y el 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, los análisis de tendencias de las centrales y los informes finales de recarga requeridos por la IS-02.

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 dentro de la clasificación del ISOE<sup>2</sup>) de acuerdo a la

---

<sup>2</sup> 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.



clasificación del ISOE en plantas de similares características.

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

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 2010 el valor más bajo de dosis colectiva para todo el parque ISOE (312 Sv·p).

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 trayectoria 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 periodo 2000-2010 fue 0,94 Sv·p.

Respecto a la exposición ocupacional por regiones para todos los tipos de reactor (gráfica 5), las regiones que más contribuyen al cómputo global anual son América y Europa, seguidas por Asia. Todas las contribuciones se agrupan durante el periodo 2000-2010 en una franja de entre 90 y 170 Sv·p. En el periodo considerado, América y Europa han ido intercambiando posiciones, terminando la década con menores valores europeos.

Para el periodo 2000- 2010 los valores de dosis colectiva media por reactor y regiones (gráfica 6) más altos corresponden a Asia (1,22 Sv·p de promedio en el periodo considerado) seguida de Norteamérica con una media de 1,06 Sv·p. Europa se mantiene en valores inferiores a 1 Sv·p desde el año 2000 (0,73 Sv·p de media en el periodo 2000-2010).

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 periodo 2000-2010, 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 sufre un repunte a partir de 2005 y hasta 2009 pasando de 0,78 a 1,08 Sv·p en dicho periodo (aunque el cómputo general de la década sea decreciente). La media anual para los reactores PWR de todas las regiones durante el periodo 2000-2010 fue de 0,8 Sv·p.

Para los reactores BWR (gráfica 8), América y Asia se han alternado 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 periodo en estudio es de 1,4 Sv.p.

## V.2. La exposición ocupacional en España en relación con el 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 presenta una difícil interpretación en cuanto a su tendencia para los reactores españoles. La gráfica de los valores en España presenta picos que coinciden con el mayor número de centrales en recarga, en especial con las recargas de los tipo BWR que son los que más contribuyen a la dosis total. Dicha gráfica presenta un pico en el año 2007 por las modificaciones realizadas en la central nuclear de Cofrentes, y en 2009 debido a que todas las centrales realizan recarga salvo la central nuclear Ascó II y además, con unas dosis por encima de la media.

En los años sin recarga de las centrales BWR o con una sola parada, los valores de dosis colectivas se encuentran en todos los casos por debajo de todas las regiones. En los años 2003 y 2005 con paradas de recarga de las dos centrales BWR, los valores son similares a la media europea. Sin embargo, en los años 2007 y 2009, también con paradas de recarga de las dos centrales BWR españolas, los valo-

res se incrementan y son más parecidos a los de la media asiática o norteamericana.

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

El periodo 2000-2010 se caracteriza por un inicio entorno a los 0,6 Sv.p en 2000 y un final entorno a 0,4 Sv.p en 2010 para la dosis media anual por reactor (gráfica 10). Excepto el año 2009, la dosis media anual por reactor se sitúa por debajo de la media europea, americana y asiática. Sin embargo, los valores europeos y americanos presentan gráficas decrecientes mientras que los valores en España presentan picos aunque la recta de regresión asociada da una tendencia prácticamente estable. En América y Europa la tendencia a la baja es sostenida en el tiempo, mientras que no se puede establecer una tendencia clara en el caso español.

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 periodo 2000-2010 han seguido una tendencia decreciente hasta 2006 y un ligero aumento hasta 2009.

En el periodo 2000-2010 los resultados del parque español se han situado por debajo de los de todas las regiones del ISOE, hecho que se produjo por primera vez en 1998. Esto es así tanto para la dosis media anual por reac-

tor (excepto 2009) como para la dosis media trienal por reactor.

### V.2.2. 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.

A partir de mediados de los años 90, la central nuclear de Santa María de Garoña comenzó una serie de acciones recogidas en un Plan de reducción del término fuente que ha finalizado con una reducción 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 no obtuvieron los resultados deseados. Desde el comienzo del periodo 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 realización de grandes trabajos en las recargas. Todo ello ha implicado una mayor

contribución de la central nuclear de Cofrentes (73% de la dosis total de los dos reactores BWR españoles) a la media durante el periodo 2000-2010.

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 periodo 2000-2010 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 especial la central nuclear de Cofrentes con dosis en recarga por encima de 2,4 Sv·p desde el año 2003. En todo el periodo 2000-2010, Garoña se encuentra en una banda de entre 0,8 y 1,34 Sv·p de dosis colectiva en las recargas.

En el caso de la media trienal la curva sigue un patrón en diente de sierra con un fuerte incremento en 2007 por las elevadas dosis ya comentadas en la central nuclear de Cofrentes, hecho que se refleja hasta 2009.

La curva de los reactores españoles sigue la misma forma que la curva americana en el periodo 2000-2006. Sin embargo, en el trienio 2007-2009 como consecuencia de los trabajos en los sistemas hidráulicos de movimiento de barras de control en Cofrentes, las dosis están muy por encima, especialmente en los años con recarga.

Europa ha venido mostrando las dosis más bajas por reactor. Las medias trienales españolas se encuentran entre un 5% (año 2006) y un 100% (años 2007 y 2009) por encima de las medias trienales europeas en el periodo 2000-2010.

El periodo 2000-2010 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.

Durante el periodo 2000-2009 las dosis de las centrales europeas suecas y suizas se situaban claramente por debajo de las españolas. Sin embargo, esta tendencia se ha invertido en 2010 debido a la desaparición del efecto de los trabajos de sustitución de los sistemas hidráulicos de movimiento de barras de control y a la ausencia de recarga en ambas centrales españolas.

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

#### **V.3.1. Centrales BWR**

En España existen dos centrales tipo BWR, Santa María de Garoña (comienzo de operación en 1971) y Cofrentes (inicio en 1984). La tendencia de las dosis colectivas de ambas centrales a lo largo del tiempo 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 su homóloga en tipo de reactor aunque más joven en generación, la central nuclear de Cofrentes y colocándola en una posición 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 (73% del parque de centrales BWR español) y una posición desfavorable a nivel internacional.

#### **V.3.1.1. Central nuclear de Santa María de Garoña**

Durante el periodo 2000-2010, Garoña muestra una tendencia al alza de las dosis en los años que ha existido recarga. En el año 2001 la dosis estuvo alrededor de 1,3 Sv·p, en el año 2007 esta fue de 1,55 Sv·p y en el año 2009 fue de 1,73 Sv·p. Entre los motivos de esta tendencia al alza es de destacar el proceso de esperable recontaminación paulatina del primario (ya que la última descontaminación se realizó en 1999) y el mayor alcance de los trabajos en las paradas de recarga. Las dosis en años sin recarga tuvieron un mínimo en 2006 con 0,17 Sv·p y desde entonces se han ido incrementando.

Para las dosis anuales (gráfica 18), 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 GE2) y en los que no (dosis inferiores a ambos grupos). Es de destacar que desde el año 2007 la central nuclear de Garoña supera a las centrales hermanas GE2, y a las centrales BWR en los años con recarga.

En cuanto a la evolución de la dosis media trienal, representada en la gráfica 19, presenta forma de dientes de sierra en función de que en el trienio en cuestión se consideren una o dos recargas ya que Garoña tiene ciclos de recarga de 24 meses.

En este periodo, Garoña presenta una media trienal inferior a la de los reactores BWR y a los de sus centrales hermanas del grupo GE2 aunque convergente con ambos grupos de centrales.

El periodo 2000-2010 se han producido los menores valores de dosis colectivas de la historia de la Planta tanto para un año de recarga (1,24 Sv.p en 2003) como para un año sin parada de recarga (173 mSv.p en 2006). Después de esos años se ha producido un ligero repunte en ambos casos.

#### V.3.1.2. Central nuclear de Cofrentes

El periodo 2000-2010 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 ve interrumpida en 2006, año sin parada de recarga. Sin embargo, se produjo de nuevo un elevado incremento en las tasas de dosis en el pozo seco medidas en 2007 por la recontaminación del G33, que coincidiendo con el gran alcance de la parada de 2007, principalmente debida a la modificación de los sistemas hidráulicos de movimiento de barras de control, originaron unas dosis superiores a los 4 Sv.p que no se observaban en la central desde mediados de la década de los 90 y que han situado a la central nuclear de Cofrentes en clara desventaja en el contexto internacional.

Como puede apreciarse en las gráficas 22 y 23, la posición de la central nuclear de Cofrentes durante el periodo 2000-2010 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 (GE5) 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 el 2005 un 26% por encima de la media trienal para sus centrales gemelas y un 53% por encima de la media trienal para todas las centrales BWR.

Salvo en 2006 y 2010 en que la dosis media trienal es menor al considerarse en su cálculo una única recarga y no contabilizar la de 2007, 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 era un 46% superior a la media del grupo GE5 y duplicaba las dosis del conjunto de BWR. En el año 2009 esta tendencia se ha mantenido, siendo las diferencias con las centrales hermanas de un 62% superior, y con las BWR se sitúa en un 143% por encima.

El año 2010 ha supuesto una vuelta a valores menores al desaparecer del cálculo la influencia de la recarga de 2007 y haber en el trienio 2008-2010 una sola recarga.

En relación con las dosis de las centrales americanas, 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 hasta 2009 (ver gráfica 24), dicha media trienal se sitúa por encima de la media americana. En 2010 esta tendencia cambia al obtenerse valores de media trienal para Cofrentes de 1,35 y 1,44 Sv·p para las centrales americanas.

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

Considerando las dosis medias trienales a nivel de reactor para todas las centrales de su grupo GE5, la central nuclear de Cofrentes ha ido perdiendo posiciones desde mediados de los años 90.

En definitiva, esta central está siendo objeto de especial atención por parte del CSN en relación con la implantación del principio Alara, 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 periodo 2000-2010, el parque español de reactores en operación PWR estuvo compuesto por siete reactores, cesando José Cabrera su actividad para iniciar el desmantelamiento en 2006.

#### V.3.2.1. Central nuclear de Almaraz

Para ambas centrales, como puede apreciarse en las gráficas (28 a 31), la evolución histórica ha estado marcada, tras el cambio de los generadores de vapor, por una tendencia decreciente de la dosis colectiva anual hasta el año 2005, tendencia rota ese año tanto para Almaraz I como para Almaraz II. Desde

2005 la tendencia es al alza, aunque en ninguna de las dos unidades se ha vuelto a valores del inicio de la década. A la vista de resultados de dosis colectivas de los años 2011 y 2012 parece que se podría volver a recuperar valores más bajos de dosis colectivas.

Se quiere destacar la importancia que están alcanzando los trabajos en generadores de vapor en relación con la evolución de las dosis globales en la central nuclear de Almaraz, así como el incremento relativo de estos trabajos respecto a recargas anteriores. El comportamiento de los tubos de los generadores de vapor, transcurridos 10 años desde su sustitución, conlleva la realización de trabajos de inspección y reparación que explican dicha situación. En principio, no es esperable una tendencia a la baja en esta actividad mientras que la situación se mantenga.

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 4-5 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 solo a la de todos los reactores PWR sino también a la media de sus grupos de centrales comparables. En el año 2010, la dosis colectiva trienal para la unidad II, es muy similar a la de las 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.

Estas medias trienales presentan un repunte desde 2005 (mientras que los grupos de PWR y W32 decrecen hasta converger con los valores de ambas unidades en el caso del grupo W32) debido, tal y como se indicó anteriormente, al incremento en las tareas de los generadores de vapor y de las modificaciones realizadas en las válvulas de alivio del Sistema de evacuación de calor residual (RHR) realizado en ambas unidades. No parece en todo caso que este repunte se alargue en el tiempo teniendo en cuenta los valores de dosis en recarga de los años 2011 y 2012.

#### V.3.2.2. Central nuclear de Ascó

Para ambas centrales, como puede apreciarse en las gráficas (32 a 35), la tendencia general de la dosis colectiva es de estabilidad.

El periodo 2000-2010 ha estado marcado para Ascó I por una evolución estable de la dosis media trienal, salvo en el año 2009 que sufre un ligero aumento debido a trabajos no rutinarios, modificaciones de diseño y requisitos de mantenimiento aplicables a la vigésima recarga. 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 (debido a la parada no programada por el suceso de liberación de partículas), volviendo en 2010 a 29 mSv·p (año en que para el cálculo de su media trienal solo entra una parada de recarga, hecho que se puede observar en la gráfica 32). En cuanto a los periodos con recarga es de destacar que la recarga del año 2009 es la mayor dosis colectiva presenta con 826 mSv·p por los motivos ya comentados. Este hecho junto con los trabajos del *Weld Over Lay* en la recarga de 2007 explican los dos picos más destacables de la gráfica de dosis colectiva anual (2007 y 2009).

En el caso de Ascó II, el periodo 2000-2010 ha estado marcado por una tendencia general estable de la dosis colectiva anual con un repunte anual en 2004, 2008 y 2010 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 2008 se realizaron trabajos de *Weld Over Lay* en las toberas del presionador y en el año 2010 este aumento es debido al incremento de las tareas en los generadores de vapor. En 2005, si bien la dosis colectiva disminuyó respecto al año con recarga anterior, no se mejoraron los resultados con los que comenzó el periodo 2000-2010. La media trienal de esta unidad en el periodo se caracteriza por tendencia estable, aunque parece mostrar un ligero repunte en el año 2010 terminando el periodo considerado prácticamente igual que al inicio de la década.

Es de destacar que en los últimos periodos con recarga se muestra una tendencia alcista de las dosis colectivas en las tareas relacionadas con los generadores de vapor para ambas unidades, por lo que el CSN, muestra un especial interés en que se efectuó un especial seguimiento para esta tarea por parte de la central.

Tanto para la unidad I como la unidad II, durante el periodo 2000-2010 se ha producido una convergencia de las dosis media trienal de las dos unidades con el grupo de centrales W32 que muestra valores decrecientes con el tiempo. Ascó I se ha situado en 2009 por encima del grupo W32 aunque se encuentra por debajo en 2010. Ascó II obtiene valores convergentes con las centrales W32, no obstante, ambas unidades mantienen una situación ventajosa respecto a las centrales PWR.

No ocurre lo mismo cuando se observa la dosis colectiva anual. Para ambas unidades la dosis colectiva anual para el periodo 2000-2010 se encuentra ligeramente por encima del grupo W32 los años con recarga siendo inferior los años sin recarga. Cuando se comparan ambas unidades con el conjunto de los reactores PWR se encuentra un descenso en los valores de dosis colectiva de éstos y se aprecia que las dosis anuales de las dos unidades en conjunto se han ido acercando paulatinamente (e incluso han superado) a las del grupo PWR. Se observa que la media del



grupo de centrales hermanas ha visto una evolución general decreciente que la central nuclear de Ascó no ha seguido en la misma proporción.

#### V.5.2.3. Central nuclear Vandellós II

El periodo 2000-2010 no muestra una tendencia estable en los años con recarga, por ejemplo en el año 2000 la dosis colectiva era de 958 mSv·p, en el año 2003 fue de 584 mSv·p, mientras que en el año 2009 se obtuvo el valor más alto del periodo de estudio con 1.176 mSv·p (aunque este valor es atribuible a trabajos extraordinarios en la recarga). En cuanto a la tendencia de la dosis media trienal es decreciente hasta 2006 y creciente hasta 2010. Los valles que se observan en 2008 y 2010 se deben a que se incluye solo una recarga en el cálculo de la dosis media trienal correspondiente a dichos años. La dosis media trienal en los años sin recarga (2001, 2004, 2006, 2008 y 2010) presenta también valores decrecientes hasta 2006 y crecientes hasta el final del periodo de estudio.

Si se observa la gráfica 37, se puede apreciar que la evolución de Vandellós II era parecida a la de los reactores W32 hasta el año 2006. A partir de entonces supera al grupo W32 en los años con recarga y es inferior en los años sin recarga. Como ya se ha comentado, la tendencia de los reactores PWR en general ha sido decreciente lo que sumado al incre-

mento de las dosis medias trienales de Vandellós II ha hecho converger ambas curvas.

#### V.3.2.4. Central nuclear de Trillo

El periodo 2000-2004 se caracterizó 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 periodo. Esta tendencia se rompió en 2005 cuando la dosis colectiva alcanzó los 467 mSv·p. Para el periodo 2005-2008 la dosis colectiva anual se sitúa en el entorno de 400 mSv. En el año 2009, se ha producido un valor de dosis colectiva de 777 mSv·p que se puede considerar muy alto para esta central, estabilizándose nuevamente en el año 2010 con 338 mSv·p.

El incremento de la dosis colectiva en 2009 fue debido a las actividades realizadas en la parada para recarga, en la que se ejecutaron las tareas de inspección requeridas tras 20 años de operación comercial, el cambio de las válvulas de primer aislamiento del circuito primario del reactor y la inspección de dos bombas principales. Los resultados de 2010, 2011 y 2012 indican que la instalación ha vuelto a valores más habituales en esta central.

En general, se observa un aumento de las dosis desde el inicio del periodo de estudio,

tanto para las dosis anuales como para la media trienal.

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 tres lazos, grupo ISOE S32) en toda su operación, superándolos de forma puntual en 2009. 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 por encima de las dosis anuales de las centrales de cuatro lazos de la tercera generación. 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 por debajo de dicha media. No obstante, las dosis medias trienales tienden a converger con las del grupo S32 y en menor medida con las de los reactores PWR, aunque como se ha comentado se espera que esta tendencia cambie en los próximos años, cuando deje de tener influencia en el cálculo el valor de 2009.

## 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 Interdós. 1989-1999.
- [Ref. 2] CSN/IEV/APRT/GENER/0000/9705/363. Evolución de las dosis ocupacionales en las centrales nucleares españolas. Informe Interdós. 1997.
- [Ref. 3] CSN/IEV/PROCU/GENER/GENER/0000/9506/2569. Informe Interdós de 1995.
- [Ref. 4] CSN/IEV/APRT/GENER/1006/532. Informe Interdós de 2000-2008.
- [Ref. 5] ISOE Annual Report 2000.
- [Ref. 6] ISOE Annual Report 2001.
- [Ref. 7] ISOE Annual Report 2002.
- [Ref. 8] ISOE Annual Report 2003.
- [Ref. 9] ISOE Annual Report 2004.
- [Ref. 10] ISOE Annual Report 2005.
- [Ref. 11] ISOE Annual Report 2006.
- [Ref. 12] ISOE Annual Report 2007.
- [Ref. 13] ISOE Annual Report 2008.
- [Ref. 14] ISOE Annual Report 2009.
- [Ref. 15] ISOE Annual Report 2010.

# Lista de acrónimos y siglas

## Lista de acrónimos y siglas

Alara:	Acrónimo de la expresión inglesa “As Low as Reasonably Achievable” (tan bajo como sea razonablemente posible).	h·p:	horas por persona. Es la suma total de horas dedicadas por todas las personas intervinientes en una actividad.
BRAC:	BWR Radiological Control and Assessment. Son cinco puntos estándar de media por lazo en los que se mide la tasa de dosis a 40 horas de la parada del reactor.	INPO:	Institute of Nuclear Power Operators.
BWR:	Reactor de agua en ebullición.	ISOE:	Sistema de Información de Exposiciones Ocupacionales ISOE.
B33:	Sistema de recirculación.	LPRM:	Monitores de radiación de baja potencia.
CCNN:	Centrales nucleares.	PSGV:	Proyecto de sustitución de los generadores de vapor.
CRDH:	Control rod drive hidráulic (sistema hidráulico de movimiento de barras de control).	PWR:	Reactor de agua a presión.
E12:	Sistema de extracción de calor residual.	RCS:	Reactor Coolant System (sistema de refrigerante del reactor).
FD:	Factor de descontaminación que es igual a la tasa de dosis medida antes de la descontaminación dividida por la tasa de dosis medida después de la descontaminación.	RHR:	Removal heat residual (sistema de evacuación de calor residual).
GE:	General Electric.	RTD:	Resistance temperature detector (detector de temperatura).
GV:	Generador de vapor.	RWCU:	Reactor water clean up (sistema de purificación de agua del reactor).
G33:	Sistema “Clean up” o de limpieza del agua del reactor.	Sv·p:	Sievert por persona que es la unidad de dosis colectiva. Es la suma total de dosis recibidas por todas las personas intervinientes en una actividad.
		WANO:	World association of nuclear operators.
		Weld Over Lay (WOL):	Trabajos de refuerzo de soldaduras en el presionador.



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

**Informe INTERDÓS 2000-2010**

Colección Documentos  
23.2013