



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

El desmantelamiento de la central nuclear Vandellós I: Un proyecto pionero en tecnología y seguridad ambiental

Autor: José María Barrera Galindez

Institución: ENRESA
E-mail: jbag@enresa.es



RESUMEN:

La Central Nuclear Vandellòs I, del tipo uranio natural-grafito-gas y de 497 MW de potencia, está situada en el municipio de Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant (Tarragona, España) y quedó fuera de servicio en octubre de 1989, tras 17 años de operación, por un incendio originado en un grupo turboalternador. El incidente no produjo implicaciones radiológicas, pero el elevado coste de restauración de las instalaciones industriales afectadas obligó a la propiedad a su cierre definitivo. Enresa, como empresa nacional para la gestión integral de los residuos radiactivos generados en España, llevó a cabo durante los años 1998-2003 el desmantelamiento de la central a nivel 2, con el sellado del cajón del reactor y el mantenimiento de un estado de latencia durante 25 años para el decaimiento de la radiactividad de sus estructuras internas hasta niveles que faciliten su desmantelamiento final. Los trabajos se planificaron y desarrollaron bajo estrictas condiciones de seguridad convencional y radiológica de las instalaciones, las personas y el medio ambiente, rigurosos protocolos de control operacional y de elevados estándares de garantía de calidad. Este proyecto de desmantelamiento y clausura es pionero en España y uno de los primeros realizados a nivel mundial en centrales nucleares comerciales de este tipo y potencia.

1. INTRODUCCIÓN

La central nuclear Vandellós I está situada en el municipio de Vandellós i l'Hospitalet de l'Infant (Tarragona, España). Es del tipo uranio natural-grafito-gas (EDF4) de 497 MW de potencia y constituyó la única planta de este tipo construida en España.



La central nuclear Vandellós I antes de su desmantelamiento

Entró en funcionamiento en el año 1972 y tras 17 años de operación con una producción total de más de 55.000 millones de kW, quedó fuera de servicio en el mes de octubre de 1989 a consecuencia de un incendio originado en el segundo grupo turbo-alternador. El incidente no tuvo implicaciones radiológicas pero produjo importantes daños materiales en las instalaciones convencionales y el Ministerio de Industria y Energía suspendió el permiso de explotación.

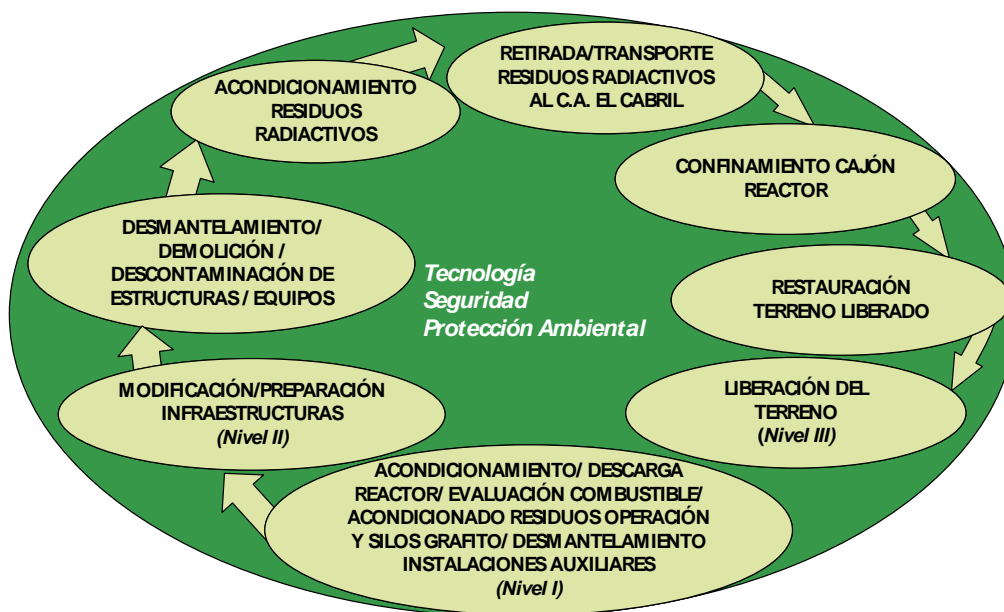
El elevado coste de restauración de las instalaciones industriales obligó a la empresa propietaria al cierre definitivo de la planta, por lo que el Ministerio de Industria y Energía, mediante la *Orden Ministerial del 31 de julio de 1990*, estableció las condiciones en que la empresa propietaria debía mantener la central en parada segura, acometer el primer nivel de desmantelamiento y transferir posteriormente la titularidad del emplazamiento a Enresa. Igualmente esta Orden Ministerial encarga a Enresa la elaboración de un Plan de Desmantelamiento y Clausura de la central nuclear.

La central nuclear de Vandellós I es la primera planta desmantelada en España, constituyendo además una de las primeras experiencias a nivel mundial de desmantelamiento de una central nuclear comercial de gran potencia de este tipo.

2. PLAN DE DESMANTELAMIENTO Y CLAUSURA

Tras el estudio de varias alternativas, Enresa presenta en el mes de mayo de 1994, el *Plan de Desmantelamiento y Clausura de la central nuclear Vandellós I* ante la Dirección Provincial de Ministerio de Industria y Energía de Tarragona. Se trata de un desmantelamiento a *Nivel 2* según la terminología del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), consistente en el desmantelamiento parcial de la instalación, con retirada de estructuras, equipos e instalaciones convencionales y de las partes activas, con excepción del cajón del reactor y sus internos y aquellos complementos necesarios para su confinamiento, dejando la instalación preparada para su periodo de latencia posterior de 25 años.

En el mes de enero de 1998 el Ministerio de Industria y Energía -previo informe favorable del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)- y la Declaración de Impacto Ambiental favorable por parte del Ministerio de Medio Ambiente, aprueba el *Plan de Desmantelamiento y Clausura*, asumiendo Enresa el día 4 de febrero la condición de explotador responsable de la planta.



Actuaciones de desmantelamiento de la central nuclear Vandellós I

Nivel 1. Actividades de acondicionamiento.

Estas actividades fueron llevadas a cabo por la empresa propietaria de la central en los años 1991 a 1997, previo al traspaso de la titularidad de la planta a Enresa:

- se realizó la descarga del reactor y la evacuación de combustible del emplazamiento, el acondicionamiento de los residuos de operación y la extracción y preacondicionamiento de los residuos depositados en los silos de grafito



- se desmontaron algunas instalaciones industriales como los depósitos de CO₂ y los grupos turboalternadores principales.

Nivel 2. Desmantelamiento de estructuras y preparación para el período de latencia.

Llevado a cabo bajo la responsabilidad de Enresa entre febrero de 1998 y junio de 2003, son desmanteladas todas las estructuras, sistemas y componentes de la instalación excepto el cajón del reactor, liberando la mayor parte del emplazamiento y manteniendo el resto como zona reglamentada.

Por necesidades operativas y de seguridad durante el desmantelamiento y para la vigilancia y control de las instalaciones durante la fase de latencia, se ha efectuado la construcción de una serie de infraestructuras, instalaciones y equipamientos entre las que destaca una nueva estructura de protección integral de intemperie del cajón del reactor confinado, un almacén temporal de grafito, un nuevo puesto informatizado de vigilancia y control operativo, nuevos sistemas eléctricos, nuevos sistemas de ventilación en las zonas con implicaciones radiológicas, una planta para el tratamiento de efluentes, báscula con pórtico de control radiactivo previo a la salida de cualquier material de la instalación, nueva red y sistemas contra incendios, nuevas oficinas y dependencias para el personal de mantenimiento/vigilancia, una adecuación de los servicios médicos, vallado perimetral de la nueva zona reglamentada, etc.

Este *Nivel 2* se ha desarrollado mediante dos fases de ejecución diferenciadas:

Primera fase: Actuaciones realizadas entre febrero de 1998 y febrero de 1999:

- Acondicionado del emplazamiento para acometer el posterior desmontaje en zonas radiológicas:
- desmontaje, demolición y reposiciones de terrenos pertenecientes a todos aquellos edificios, sistemas y componentes sin implicaciones radiológicas, para la eliminación de obstáculos y habilitación de espacios necesarios para posteriores trabajos en las zonas radiológicas.
- Desmantelado y retirada del emplazamiento de equipos y estructuras convencionales no necesarias logísticamente como apoyo a otras actividades del desmantelamiento, actuaciones incluidas en el *Plan de Desmantelamiento de Componentes Convencionales (PDCC)*, entre las que cabe destacar:
- el desmontaje de la central eléctrica auxiliar y sus equipos y su posterior demolición; la retirada de los tanques de combustible y de los tanques de agua desmineralizada; etc.

Segunda fase: Actuaciones realizadas entre marzo de 1999 y junio de 2003:

- Además de continuar ejecutando las actuaciones correspondientes al *PDCC*, en esta fase se desarrolló del *Plan de Desmantelamiento de Partes Activas (PDPA)* consistente en:

- el desmantelamiento de edificios, sistemas y componentes situados en zonas con implicaciones radiológicas, con la segregación y traslado de los materiales resultantes, dirigido todo ello a la reducción al mínimo de la cantidad final de residuos radiactivos.
- Aplicación del *Plan de Desclasificación* para asegurar que los materiales limpios no están contaminados y pueden ser gestionados convencionalmente:
 - realización de una campaña de caracterización para determinar la ubicación de los focos de contaminación y de radiación
 - confección de un mapa radiológico que permita abordar la estrategia de desmantelamiento más eficaz para la reducción al mínimo de las dosis potenciales recibidas por los trabajadores y de la generación de residuos.

En esta fase se desarrollaron las actuaciones más relevantes del desmantelamiento de la central:

- desmontaje de todos los sistemas y equipos internos de los edificios: los materiales resultantes que superen los niveles de contaminación establecidos por la autoridad competente, son gestionados como residuos radiactivos de baja y media actividad y expedidos debidamente acondicionados al Centro de Almacenamiento de El Cabril situado en Hornachuelos (Córdoba), propiedad de Enresa; los materiales radiológicamente limpios y desclasificados fueron gestionados como materiales/residuos convencionales
- desmontaje de las estructuras de los edificios: las paredes ya desnudas de los edificios son nuevamente medidas para localizar posibles focos de contaminación y su profundidad, efectuándose en caso positivo la descontaminación de las zonas afectadas y una nueva campaña de caracterización que demuestre la ausencia de radiactividad
- demolición de edificios: tras su desclasificación, los edificios son finalmente demolidos y el terreno es repuesto y liberado.



Trabajos de desclasificación de superficies



Trabajos de desmantelamiento de equipamientos

El desmontaje de los equipos del edificio del reactor se desarrollaron durante casi dos años, sellándose el cajón del reactor para garantizar el estado de confinamiento estático durante el período de latencia (25 años). La zona fue reclasificada y se construyó una nueva estructura de un tamaño notablemente inferior a la existente para la protección de intemperie del cajón. La nave original de protección del cajón fue desclasificada por el Consejo de Seguridad Nuclear y posteriormente desmantelada.





Desmantelamiento de la nave del reactor

En el edificio de combustible irradiado se procedió al desmontaje de equipos, la descontaminación de estructuras y, una vez desclasificado, a su demolición en paralelo con la nave del reactor. Este edificio se destinaba a conducir el combustible gastado hasta la nave de piscinas durante la operación de la central.

Por sus implicaciones radiológicas, el desmantelamiento de la nave de piscinas supuso una de las actuaciones más complejas del proyecto. Tras la retirada de equipos y sistemas se procedió a la descontaminación de estructuras y a la desclasificación y posterior demolición de la nave con la consiguiente restauración de los terrenos.

Igualmente resultó complejo, desde el punto de vista de la descontaminación de sus estructuras, el desmantelamiento para su desclasificación de los tres silos de grafito utilizados para el almacenamiento de las camisas de grafito del combustible de la central. El taller de acondicionamiento del grafito es igualmente desmantelado y posteriormente demolido.

El edificio de efluentes donde se trataban y evacuaban los efluentes de la central en su etapa de operación, fue utilizado como almacén temporal y de acondicionamiento de los residuos radiactivos generados en el desmantelamiento hasta su expedición al Centro de Almacenamiento de El Cabril, así como para la descontaminación de materiales. Tras quedar fuera de uso, el edificio fue desclasificado, demolido y restaurado el terreno.

- Depósito para el almacenamiento temporal del grafito:

Se construye un depósito de 1.900 m² dotado de un blindaje especial situado en la cota inferior de la nave del reactor (antiguo taller de corte), para el almacenamiento temporal en contenedores durante el periodo de latencia del grafito procedente de las camisas del combustible gastado de la central. El depósito dispone de los correspondientes elementos y equipos para su vigilancia y control.

- Desclasificación de materiales procedentes de partes activas:

El desmantelamiento de edificios, instalaciones, equipos, etc., de partes activas, produjo una cantidad de materiales con potenciales implicaciones radiológicas que, tras analizarse, fueron desclasificados (estructuras y paramentos de edificios, equipos y componentes, diversos materiales, etc.). De ellos, unos fueron expedidos de la instalación para su reciclado/gestión controlada y otros fueron reutilizados en la propia instalación (ej. restauración de terrenos con hormigones).

- Acondicionado y expedición de los residuos de baja y media actividad (RBMA) al Centro de Almacenamiento de El Cabril:

Los residuos de baja y media actividad generados en el desmantelamiento, fueron debidamente inventariados y acondicionados para su traslado al Centro de Almacenamiento de El Cabril.

Para ello, se diseñaron diversos tipos de contenedores en función de los materiales a contener y requerimientos de almacenado y transporte:

- CMD Contenedor de Medida y Desclasificación: contenedor para la gestión de materiales desclasificables.
- CMT Contenedor Metálico de Transporte: utilizado para alojar los residuos radiactivos procedentes del desmantelamiento de sistemas y estructuras de zonas activas. Una vez completada su capacidad, se acondicionaban mediante la introducción de hormigón para el aislamiento de los residuos y su posterior traslado al Centro de El Cabril.
- Bidón DV Desmantelamiento Vandellós: diseñado para los residuos radiactivos secundarios (guantes, máscaras, filtros, etc.) que una vez acondicionados se transportan al Centro de El Cabril.

- Materiales y residuos procedentes de partes no activas:

Los materiales convencionales procedentes de partes no activas (residuos peligrosos y no peligrosos, chatarras, efluentes y sedimentos, papel y cartón, etc.), fueron gestionados diferenciadamente en función de su categoría y destino y entregados a gestores autorizados para su reciclado/eliminación.

Periodo de Latencia:

Finalizado el *Nivel 2*, las áreas del emplazamiento no liberadas permanecen bajo la responsabilidad y vigilancia de Enresa durante el plazo de 25 años, periodo durante el cual la actividad radiológica de las estructuras internas del cajón decaerá hasta niveles que permita su desmantelamiento con unos costes radiológicos mínimos.



La central nuclear tras su desmantelamiento a Nivel 2



Retirados todos los equipos y sistemas conectados, se ha efectuado el confinamiento estático del cajón del reactor mediante la obturación y el aislamiento térmico de más de 1.700 penetraciones, realizándose una prueba de estanqueidad controlada por el Consejo de Seguridad Nuclear. Esta prueba será repetida cada cinco años durante el período de latencia, así como pruebas de comprobación de la corrosión interna mediante toma de muestras e inspecciones visuales con cámaras especiales.

Han sido instalados nuevos cuadros eléctricos y todos los elementos necesarios del sistema de vigilancia y control del cajón y del nuevo depósito temporal blindado, situado bajo la nave del reactor para el almacenamiento temporal del grafito procedente de las camisas del combustible gastado durante la fase operativa de la central. Se construyó una nueva planta modular de tratamiento de efluentes líquidos y el vallado perimetral del nuevo emplazamiento con la instalación de nuevos equipos y sistemas de vigilancia y seguridad.

Nivel 3. Desmantelamiento del cajón del reactor.

Tras un período de latencia establecido en 25 años, hacia el año 2028, se iniciará el *Nivel 3* con el desmantelamiento definitivo del cajón del reactor y sus estructuras internas, quedando liberada la totalidad del emplazamiento.

3. PLANIFICACIÓN Y SEGURIDAD

En el diseño y ejecución del *Plan de Desmantelamiento* ha primado la seguridad en las actividades programadas y del personal responsable de su ejecución. Ello se ha traducido en un sistema operativo planificado con protocolos de actuación sometidos a un estricto sistema de control. La garantía de esta seguridad se ha fundamentado, entre otros, en los siguientes instrumentos:

Protección Radiológica y Seguridad.

La seguridad y protección de los trabajadores en los aspectos radiológico e industrial, ha sido efectuada por el *Servicio de Protección Radiológica y Seguridad* de la instalación, con una dotación aproximada del 10% de la plantilla del desmantelamiento de la central.

Entre estas actividades cabe destacar el seguimiento y control radiológico operativo de los trabajos de desmantelamiento, la descontaminación en las diferentes zonas radiológicas de la central, la medida para la desclasificación de los diferentes materiales y superficies y el control y planificación de vertido de efluentes.

Las actuaciones en zonas activas de la instalación han sido sometidas a un riguroso análisis para determinar sus implicaciones radiológicas, de tal forma que un operario solo podía realizar su trabajo si disponía del denominado *Permiso de Trabajo con Radiaciones*, el cual establecía las normas de protección radiológica a seguir en cada zona concreta.



Todos los trabajos han sido sometidos a un análisis previo con objeto de planificar el modo más seguro de llevarlos a cabo, realizado por el *Comité ALARA* y aprobado por el *Servicio de Protección Radiológica y Seguridad*, actuando tanto a nivel preventivo, como operacional y de control de datos.

Las principales actuaciones realizadas han sido:

- las autorizaciones de trabajo
- las vigilancias radiológicas
- la formación en protección radiológica
- los controles de dosis
- la planificación de los trabajos
- la información al inspector residente del Consejo de Seguridad Nuclear.

En materia de seguridad física, durante los cinco años de duración del desmantelamiento se han controlado más de 391.000 movimientos de entrada/salida de personal y más de 43.000 de vehículos, sin que se presentase ninguna incidencia relevante.

Programa ALARA.

Su denominación deriva de la expresión inglesa “*As Low As Reasonably Achievable*” (tan bajo como razonablemente posible) y su objeto es reducir las dosis de exposición a radiaciones ionizantes a niveles tan bajos como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores técnicos, económicos y sociales. Este Programa ha sido aplicado a todos los trabajos y actuaciones con riesgo radiológico para los trabajadores, el público en general y el medio ambiente, involucrando tanto a la propia Enresa como a las empresas contratistas.

El criterio ALARA se articula mediante una serie de parámetros radiológicos (dosis colectiva, individual, máxima, tasas de radiación, niveles de contaminación superficial y ambiental) que determinan la puesta en marcha de un protocolo de actuación y protección de obligado cumplimiento. Este protocolo prioriza la máxima reducción de las dosis en cada actuación en las zonas activas de la instalación.

Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA).

Se estableció el *Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA)* para la medición de parámetros radiactivos mediante 30 estaciones de muestreo situadas tanto en la instalación como en su entorno y cuyos resultados son remitidos al Consejo de Seguridad Nuclear. La vigilancia radiactiva ambiental se mantendrá durante todo el periodo de latencia de la instalación.

Solicitud de Autorización de Trabajo.

Todas las actividades llevadas a cabo en el desmantelamiento debían estar previamente autorizadas por la correspondiente *Solicitud de Autorización de Trabajo*, documento administrativo que establece las condiciones en materia de seguridad para cada trabajo, el personal designado y los medios necesarios para su ejecución. Durante el proceso de desmantelamiento se autorizaron 854 solicitudes de este tipo.



Prevención de Riesgos Laborales.

No obstante a la naturaleza nuclear de los trabajos, los riesgos más numerosos que han tenido que afrontar los trabajadores han sido de tipo industrial convencional derivados de los trabajos a gran altura, la adecuación y movimiento de ingentes cantidades de materiales, etc. La prevención de riesgos se ha articulado mediante una política de seguridad integrada incidiendo en la mejora continua de la prevención y en la participación de todos los colaboradores del proyecto.

La aplicación del *Plan Marco de Prevención de Riesgos Laborales* ha implicado la realización de inspecciones periódicas de seguridad en todas las instalaciones del emplazamiento y áreas de trabajo, con realización de muestras, controles y evaluaciones de las condiciones ambientales de los trabajos.

Se efectuaron 4.970 estudios de situaciones potenciales de peligro en 200 áreas de trabajo del emplazamiento, 12.000 controles de prevención de riesgos laborales y 2.500 revisiones de equipos pertenecientes al *Plan de Lucha contra Incendios*.

En cuanto a siniestrabilidad laboral, durante el período de desmantelamiento se produjeron 0 accidentes, 83 incidencias con bajas entre 2 y 46 días y el 0,4% de jornadas perdidas por baja laboral.

Equipos multidisciplinares.

El éxito de la eficacia en todos los trabajos de desmantelamiento y de la gestión de la seguridad se ha fundamentado en la adecuada planificación y coordinación de los distintos trabajos y servicios involucrados (ingeniería de desmantelamiento, vigilancia y protección radiológica, seguridad y control, autorizaciones de personal y equipos, cumplimiento normativo y reglamentario, etc.), constituyendo esta coordinación por sí sola uno de los principales activos del proceso.

4. CONTROL INSTITUCIONAL

La singularidad intrínseca de los trabajos y la naturaleza nuclear del emplazamiento, han condicionado el desmantelamiento de la central sometiéndola a un exhaustivo control por parte de las correspondientes autoridades competentes.

En aspectos nucleares las autorizaciones y actividades de inspección y control han correspondido principalmente a los organismos estatales: Ministerio de Industria y Energía, el Consejo de Seguridad Nuclear y la Dirección General de Política Energética del Ministerio de Economía. El Consejo de Seguridad Nuclear ha mantenido en la central un inspector residente para el seguimiento continuado de todas las actividades, realizando auditorías periódicas a los diferentes departamentos involucrados. Durante todo el proceso se han llevado a cabo 75 auditorías a diferentes aspectos del Plan de Desmantelamiento.

En materia no nuclear, el Ministerio de Medio Ambiente (Declaración de Impacto Ambiental), Generalitat de Catalunya (emisiones, autorización de vertidos, residuos



peligrosos, ruido, etc.) y el Ayuntamiento de l'Hospitalet de l'Infant, han sido entes competentes en materia de control medioambiental.

5. GARANTÍA DE CALIDAD

Todos los trabajos realizados durante el desmantelamiento han sido sometidos a un *Programa de Garantía de Calidad* elaborado específicamente para el desmantelamiento de la instalación de acuerdo con las normas *UNE-73.401* y *UNE-EN-ISO-9001*, para comprobar la aplicación y cumplimiento de los procedimientos establecidos y la normativa vigente. En su aplicación se han emitido más de 500 procedimientos, se han realizado más de 50 auditorías y se han efectuado más de 800 inspecciones.

Este Programa ha sido implantado conforme al *Sistema de Calidad de Enresa* aplicado a toda la actividad de gestión de la empresa.

6. PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo de ejecución del *Plan de Desmantelamiento a Nivel 2* llevado a cabo por Enresa fue de 63 meses (febrero de 1998 - junio de 2003), si bien desde el mes de junio de 1991 hasta enero de 1998 la empresa llevó a cabo los estudios y trámites previos a la aprobación del Plan, tales como la definición y propuesta de alternativas, la redacción del proyecto, el Estudio de Impacto Ambiental, etc.

7. PRESUPUESTO

El coste final de la obra ejecutada ha sido de 94,6 millones de euros.

8. GESTIÓN AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO

Desde el punto de vista de la protección ambiental, en el *Plan de Desmantelamiento* se contemplaron las siguientes líneas básicas de actuación:

- la prevención y control de impactos
- la gestión de los residuos radiactivos y peligrosos
- la gestión de efluentes.

Prevención y control de impactos.

La aprobación del proyecto por parte de las autoridades competentes, incluyó el preceptivo Estudio de Impacto Ambiental cuya Declaración positiva fue aprobada en septiembre de 1997 por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.

El Estudio de Impacto Ambiental realizado ha sido el primero llevado a cabo en España para el desmantelamiento de una central nuclear y pionero también a nivel internaciona.



Para la vigilancia radiológica ambiental se implantó el *Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA)* y para la vigilancia ambiental de aspectos no radiológicos (calidad del aire, ruido y efluentes) el *Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)*.

- Impactos radiológicos:

Las condiciones del desmantelamiento fueron establecidas mediante dictamen por el Consejo de Seguridad Nuclear y contenidas en los siguientes documentos oficiales:

- Estudio de Seguridad
- Reglamento de funcionamiento
- Especificaciones Técnicas
- Plan de Emergencia Interior
- Manual de Garantía de Calidad
- Manual de Protección Radiológica
- Plan de gestión de residuos radiactivos
- Plan de Seguridad Física
- Manual de cálculo de dosis
- Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental
- Plan de ejecución

De entre estos documentos, los correspondientes a impacto radiológico establecían distintos niveles radiológicos interiores y exteriores a la instalación, según actividades y zonas, exigiendo a Enresa la realización de un conjunto de pruebas y mediciones periódicas, incluyendo el almacén temporal de residuos hasta su expedición al Centro de El Cabril y los niveles de activación del grafito que permanecerá confinado durante el periodo de latencia.

En el desarrollo del *Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA)* se ha efectuado una media de 378 tomas de muestras al año en el conjunto de las 30 estaciones de muestreo instaladas, realizándose más de 1.180 análisis radiológicos/año sobre 29 parámetros.

Durante el desmantelamiento no se ha producido incidencia relevante alguna, manteniéndose los valores obtenidos muy por debajo de los establecidos. De todo ello Enresa ha emitido durante el desmantelamiento y continúa emitiendo durante el período de latencia los preceptivos informes a las autoridades competentes.



Estación de muestreo de Vigilancia Radiológica Ambiental

Durante el periodo de latencia, el cajón del reactor es sometido cada cinco años a una prueba de estanqueidad con el objetivo de asegurar el estado de su confinamiento estático. Estas pruebas son controladas por el Consejo de Seguridad Nuclear y constan de las siguientes cinco fases:

fase de presurización
fase de estabilización
fase de fuga controlada
fase de verificación
fase de despresurización.

En los años 2.000 y 2.005 han sido realizadas sendas pruebas de estanqueidad cumpliendo ambas los requisitos establecidos.

Desde el punto de vista de impacto radiactivo, el desmantelamiento de la central a *Nivel 2* y su posterior periodo de latencia, supondrá un decaimiento estimado de la actividad radiológica de las estructuras internas del cajón del reactor a niveles del 5% de su nivel inicial, permitiendo entonces su desmantelamiento total con unos costes radiológicos mínimos.

- Impactos no radiológicos:

Los impactos no radiológicos debido a las actividades del desmantelamiento establecidos en la Declaración de Impacto Ambiental de la E.I.A., fueron:

- calidad del aire (concentración de partículas)
- inmisión sonora
- lixiviados

La medición y control de los impactos no radiológicos fueron llevados a cabo mediante el *Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)* implantado y desarrollado tanto por el servicio



de Protección Radiológica de la instalación como por la empresa ICICT, S.A. (toma de muestras y laboratorio).

· *Concentración de partículas en suspensión:*

Las partículas en suspensión en el aire son producidas principalmente por las actividades de demolición de edificios, el transporte de materiales de derribo, el machaqueo de hormigón, el apilamiento temporal de materiales, etc.

Para el control y mitigación de polvos y partículas, se establecieron medidas preventivas durante los trabajos de demolición en las áreas y viales afectados, como la humectación, la no trituración de hormigón en días de fuerte viento, etc.

La medición de la concentración de partículas se llevó a cabo mediante el muestreo en continuo de 24 h. y medida diaria de cada filtro en la estación de muestreo de l'Hospitalet, no superándose el valor máximo establecido en las especificaciones del Programa de Vigilancia Ambiental del EsIA (150 microgramos/Nm³).

· *Ruido:*

Los niveles más elevados son producidos por las actividades de demolición de edificios, maquinaria, camiones, manejo de chatarras y machaqueo de hormigón.

La medición de los niveles de inmisión sonora (Leq dB(A)) se determinaron mensualmente en cuatro puntos situados en el área de L'Almadrava del entorno de la instalación, en períodos diurnos y nocturnos, tanto en horas de actividad de desmantelamiento como de inactividad (ruido de fondo), no superándose en ninguna medición los niveles establecidos.

Dado el emplazamiento de la central en un área industrial situada en una franja litoral entre una autovía, el ferrocarril con taludes de varios metros de altura y el mar, con presencia de barrancos, arbolado, etc., y la distancia a áreas pobladas de más de 2 km., el impacto por ruido sobre zonas pobladas fue prácticamente nulo.

· *Lixiviados:*

Para el acopio de los materiales convencionales de demolición (chatarras, hormigones, etc.) se han habilitado áreas adecuadas para la recogida de lixiviados así como la construcción de una arqueta-registro para el control y toma de muestras para el análisis de la calidad de este agua.

La toma de muestras se efectuaba previa a cada vertido con la determinación de los siguientes parámetros:

materiales en suspensión (MES kg/día)
materiales oxidables (MO kg/día)
materiales inhibidores (MI kg equitos/día)
sales solubles (SOL S/cm m³ día)
nitrógeno (N)
fósforo total (P).

Con los resultados obtenidos se emitieron los correspondientes informes periódicos a la Junta de Sanejament de la Generalitat de Catalunya.

· *Aguas residuales:*

Se ha construido una nueva planta para el tratamiento de las aguas residuales de tipo urbano generadas por el personal de desmantelamiento, con tratamiento de floculación/decantación, aireación/desinfección, efectuándose periódicamente su análisis para cumplimiento de los niveles de calidad del vertido al mar exigidos por la Junta de Sanejament de la Generalitat.

· *Impacto visual:*

El desmantelamiento de la central a su *Nivel 2* ha supuesto una importante reducción de los volúmenes y superficies ocupadas por naves, edificios e instalaciones industriales existentes en la etapa de operación. Ello ha redundado en una drástica reducción del impacto visual de la instalación durante su actual fase de latencia, hasta el desmantelamiento final de la nave del cajón del reactor.

La nueva nave del cajón construida en sustitución de la existente originalmente, tiene una altura de 47 m. y un volumen de 39.000 m³ frente a los 80 m. y 162.000 m³, respectivamente, de la anterior, suponiendo una reducción de la altura de 33 m. y del 75% de su volumen. Asimismo, con su acabado en tono verde en la base degradando a azul hasta la coronación, se ha procurado mitigar el efecto visual del edificio respecto a su entorno (vegetación con árboles y arbustos y mar), mejorando notablemente el del anterior (acabado en color rojo y blanco).



Nuevo edificio del cajón del reactor



Para el seguimiento de la incidencia ambiental se emitieron informes periódicos sobre el resultado del Programa de Vigilancia Ambiental establecido y remitidos a los organismos competentes.

- Gestión de residuos:

La magnitud del desmantelamiento de la central ha implicado la generación de una gran cantidad de materiales y residuos procedentes tanto de las zonas activas como convencionales, siendo todos ellos inventariados, clasificados, segregados y sometidos a su correspondiente gestión en función de su tipología y requerimientos.

La gestión de residuos y materiales ha dado cumplimiento a los objetivos prioritarios contemplados en esta materia en el proyecto:

- la reducción al mínimo del volumen de residuos tanto radiactivos como convencionales
- el control exhaustivo de todos los materiales para la segregación de los que presenten implicaciones radiológicas de los limpios y reutilizables
- el reciclado del mayor volumen posible de materiales desclasificados y residuos convencionales.

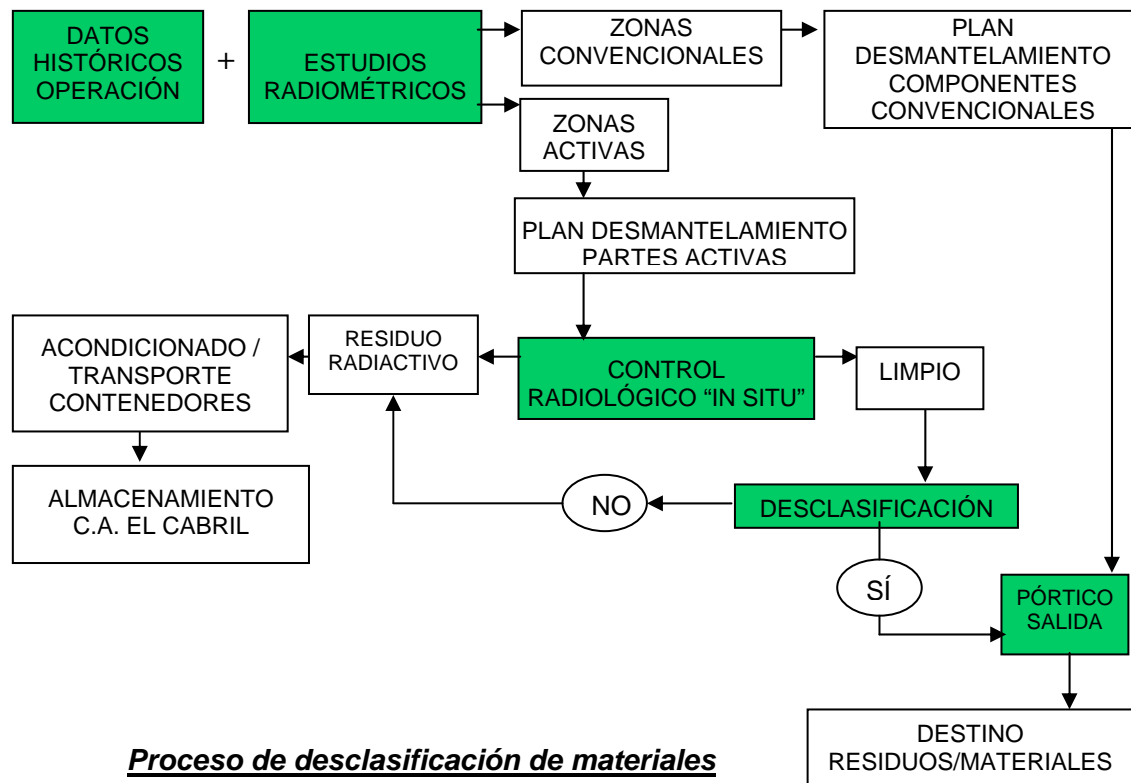
En este sentido, todos materiales procedentes de zonas activas susceptibles de ser desclasificados han sido sometidos a este proceso evitándose su clasificación como residuo radiactivo. Todos los materiales desclasificados y el resto de materiales y residuos convencionales susceptibles de ello han sido reciclados internamente o evacuados para su reciclado externo por gestores autorizados.

Todas las expediciones de materiales y residuos procedentes tanto de partes activas como convencionales evacuados de la instalación, han sido sometidas al correspondiente control obligatorio de radiactividad previo a su autorización de salida.

Residuos radiactivos:

El proceso de desclasificación tiene por objeto final reducir al máximo la producción residuos radiactivos. Para ello, Enresa puso en marcha un sistema basado en someter a los materiales contaminados y susceptibles de desclasificar, a cinco controles sucesivos:

- conocimiento histórico operacional del equipo/material a desclasificar
- análisis de hasta tres estudios radiométricos globales del emplazamiento
- caracterización radiológica “in situ” del equipo/material
- desclasificación del material por medidas espectrométricas
- verificación mediante pasada por un pórtico para aquellos materiales desclasificados a evacuar de la instalación.



Los materiales procedentes de partes activas que fueron desclasificados alcanzaron la cantidad de 9.973 t.: 8.012 t. expedidas para su reciclado/reutilización/tratamiento por un gestor autorizado externo, y 1.961 t. de materiales desclasificados y reciclados en el emplazamiento (hormigones para restauración de terrenos).

Los materiales que superasen determinados niveles establecidos por el Consejo de Seguridad Nuclear eran considerados residuos radiactivos y acondicionados y gestionados como tal para su traslado al Centro de Almacenamiento de El Cabril propiedad de Enresa. La eficacia del proceso de desclasificación de materiales ha permitido reducir la producción total de residuos radiactivos de baja y media actividad a 1.763 t. respecto a las 2.000 t. estimadas en el proyecto (reducción del 12%). El número de transportes de residuos efectuados al Centro de El Cabril ha sido de 188.

MATERIALES DESCLASIFICADOS Y EXPEDIDOS	(Kg.)
Aislamiento térmico	98.404
Cables	152.975
Chatarra ferrosa	7.553.490
Chatarra no ferrosa	85.955
Varios	121.216
TOTAL	8.012.040

MATERIALES DESCLASIFICADOS Y REUTILIZADOS EN EL EMPLAZAMIENTO	
Hormigón	1.961.835

RESIDUOS RADIATIVOS EXPEDIDOS A EL CABRIL	
Residuos Radiactivos	1.763.722

TOTAL	11.737.597
--------------	-------------------

Producción de materiales y residuos procedentes de partes activas



Interior de una celda para el almacenamiento de contenedores de residuos de baja y media actividad. Centro de Almacenamiento de El Cabril.



Centro de Almacenamiento de El Cabril

Grafito procedente de las camisas del combustible gastado:

La gestión de los residuos radiactivos del desmantelamiento ha incluido la gestión de 1.100 t. de grafito procedente de las camisas del combustible gastado de operación de la central, consistente en su adecuación en contenedores construidos específicamente para ello, y su almacenamiento temporal en seco en un depósito construido en la parte inferior del cajón del reactor durante la fase de latencia. El depósito, dispone del blindaje adecuado y de los equipos precisos de vigilancia control y sometido a inspecciones periódicas reglamentadas.

Residuos de partes no activas:

Constituyen los residuos y materiales procedentes del desmantelamiento que nunca ha tenido contacto con zonas activas, o bien, aquellos que pese a proceder de zonas activas han sido previamente desclasificados por el Servicio de Protección Radiológica, alcanzando una producción total de 7.894 t. mayoritariamente constituidos por residuos peligrosos. Su gestión fue realizada por gestores autorizados externos generando la necesidad de control de 923 transportes.



MATERIALES PROCEDENTES DE PARTES CONVENCIONALES	(Kg.)
Absorbentes y material filtración	11.660
Aceites lubricantes	128.180
Ácido clorhídrico	80
Aguas residuales fecales	37.500
Aislantes torres alta tensión	5.240
Alúmina	2.360
Amianto	460
Banal	453.300
Baterías	17.900
Cables eléctricos	310.580
Carbonato sódico	3.960
Cenizas	4.640
Chatarra	5.884.820
Detergentes	1.220
Disolventes halogenados	3.000
Disolventes no halogenados	3.000
Efluentes y sedimentos	435.280
Equipos electrónicos	39.450
Espumógeno	3.140
Fibra y lana de vidrio	46.180
Fibrocemento	60.870
Fluorescentes	730
Grafito	5.260
Hidróxido sódico	380
Mezcla de gases refrigerantes	200
Neumáticos usados	2.080
Papel y cartón	56.095
Pilas	713
Plásticos	620
Radiografías	700
Residuos especiales en pequeñas cantidades	6.367
Resinas intercambio iónico	46.160
Soluciones salinas	15.740
Tejidos vegetales	84.500
Tela asfáltica	138.980
Transformadores con PCBs	83.480
TOTAL	7.894.825

Producción de materiales y residuos procedentes de partes no activas

9. FORMACIÓN



El desmantelamiento de una central nuclear comporta la realización de complejos trabajos tanto en las áreas con implicaciones radiológicas como convencionales. Equipos multidisciplinares integrados por personal interno y de las empresas contratadas, el estricto cumplimiento de los protocolos de seguridad y requisitos normativos, la coordinación de las actividades dispares que se desarrollan, etc., obligan necesariamente a mantener una formación constante para todo el personal interviniente.

Para ello Enresa desarrolló durante el desmantelamiento un Plan de Formación renovado anualmente aplicando las directrices del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, el reglamento de Protección Sanitaria contra radiaciones Ionizantes y el Plan Marco de Previsión de Riesgos Laborales para el desmantelamiento de la central nuclear elaborado específicamente por Enresa en base la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Así, durante el periodo de desmantelamiento el Servicio de Comunicación y Formación de la central impartió 1.537 cursos con un total de 4.000 horas lectivas y 7.800 asistencias.

Uno de los pilares de esta formación fue la impartición de cursos de reciclaje tanto para el personal con una dilatada experiencia como contratado, por lo que las 2.700 personas que tomaron parte en el desmantelamiento asistieron a una media de cuatro cursos cada una, independientemente de sus niveles de responsabilidad.

Por materias, protección radiológica fue la disciplina que más dedicación recibió con el 50% de las horas lectivas y el 19 % a la seguridad laboral, dada la necesidad de disponer de operarios altamente cualificados para el desarrollo de trabajos complejos. Por tanto, más de dos tercios de la formación impartida ha sido destinada a garantizar la seguridad de los trabajadores.

10. EMPLEO

La complejidad y diversidad de servicios y actividades a desarrollar en este tipo proyectos hace necesaria la participación de numerosas empresas y personal con distintas especializaciones.

Las empresas involucradas en este proyecto han sido 63 con una media de presencia en planta de 30, desarrollándose una media de 25 trabajos distintos al día, Han participado un total de 2.700 personas de todos los niveles con puntas de 420 trabajadores/día e invirtiéndose un total de 2.750.000 horas de trabajo.

El fomento del empleo local ha significado para Enresa una herramienta de primer orden para su integración en el entorno de la central. Del promedio de 323 trabajadores/día que han trabajado en el desmantelamiento, 226 (70%) procedían de municipios del entorno de la central.

Es necesario destacar el nivel de cualificación y eficacia mostrado por parte operarios y empresas colaboradoras locales en el desarrollo de sus distintas funciones y servicios requeridos.



11. COMUNICACIÓN

Desde el inicio del desmantelamiento, Enresa implantó una Política de Comunicación dirigida los diferentes colectivos sociales basada en la transparencia de las actuaciones y fines del proyecto, estableciéndose canales de comunicación con diferentes instituciones, medios de comunicación y la opinión pública en general del entorno de la instalación.

A nivel institucional se han fomentado fluidas relaciones con instituciones públicas de la zona, asociaciones y organizaciones de distinta índole, representantes políticos de todos los niveles, etc., organizándose jornadas y reuniones periódicas para mostrar el avance y resultados de los trabajos y recibiendo la visita de organismos autonómicos, gubernamentales y colectivos varios con interés en el desmantelamiento.

Para la información al público en general y la organización de visitas a la instalación, Enresa constituyó un Centro de Información, proporcionando toda la información necesaria sobre la marcha del proyecto. El Centro ha recibido 24.398 visitantes y organizado 1.159 visitas, correspondiendo casi un 80% de los mismos a estudiantes de todos los niveles y el resto a organismos oficiales, medios de comunicación, empresas, etc.

Asimismo, ha recibido numerosas visitas de responsables de los principales organismos y asociaciones internacionales del sector nuclear, de agencias y empresas públicas de catorce países, de directivos y técnicos de empresas, etc., para conocimiento directo del proyecto de desmantelamiento e intercambio de experiencias.

Finalmente, Enresa ha editado diversas publicaciones, folletos, etc., para la difusión del proyecto, así como su presentación en numerosas comunicaciones, jornadas y seminarios de carácter técnico.

En consonancia con esta política, Enresa mantiene la recepción de visitas a la instalación durante el periodo de latencia.

12. SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL.

Finalizados los trabajos operacionales de desmantelamiento, en la instalación ha sido implantado un *Sistema de Gestión Ambiental* para el control documentado del cumplimiento de los requisitos ambientales establecidos en la normativa, y el desarrollo de los compromisos de prevención de impactos y mejora continua incluidos en la Política Ambiental establecida voluntariamente por la dirección.

El *Sistema de Gestión Ambiental* implantado ha sido certificado en el año 2006 en la norma *UNE-EN-ISO-14001*, constituyendo la primera instalación de este tipo en el mundo en disponer de esta certificación.

13. I+D Y FORMACIÓN DE ESPECIALISTAS



El emplazamiento en latencia durante 25 años de la central nuclear desmantelada, implica una infraestructura mínima de gestión y mantenimiento. Ello constituye una privilegiada ocasión para el desarrollo de programas de investigación de tecnologías y la formación de responsables de futuros desmantelamientos de centrales nucleares.

En este sentido, Enresa ha firmado un convenio de colaboración con la Universidad Rovira i Virgili para el nuevo centro de investigación y desarrollo de tecnologías relacionadas con el desmantelamiento de centrales nucleares denominado *Centro Tecnológico Mestral*.

El *Centro*, ya construido y ubicado en la propia instalación, desarrollará actividades de I+D basadas en las siguientes áreas:

- la gestión del periodo de latencia de la central desmantelada
- la investigación de tecnologías, materiales y procedimientos para futuros desmantelamientos
- la formación de profesionales cualificados para llevar a cabo estos proyectos.

Estas actividades permitirán adquirir un conocimiento de las tecnologías, materiales y procedimientos más eficaces aplicables para futuros desmantelamientos. Las líneas de investigación a poner en marcha están dirigidas al conocimiento de:

- El comportamiento a largo plazo/durabilidad del cajón del reactor: vigilancia de su estanqueidad, de su estabilidad estructural, del envejecimiento del hormigón y sus armaduras, la evolución de los materiales internos y su corrosión, etc.
- La caracterización radiológica de los materiales y componentes internos del reactor: desarrollo de telemanipuladores para la toma de muestras del interior del cajón para su posterior caracterización radiológica.
- Tecnologías de desmantelamiento del cajón del reactor y de sus estructuras internas (*Nivel 3*): análisis comparativo de diferentes estrategias y metodologías de desmantelamiento en nivel 3 del cajón del reactor, para la optimización de costes e impacto radiológico, así como el estudio de técnicas de corte y descontaminación de materiales.
- Gestión de residuos: seguimiento de las actuaciones que se realicen a nivel internacional en este campo y la realización de un estudio de posibles soluciones de tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento final de los residuos de alta actividad.
- Tecnologías de recuperación de terrenos contaminados que posibiliten su futura libre disposición: análisis de los procesos de transporte de radionucleidos en suelos contaminados para la aplicación de las técnicas más eficaces.



- Gestión documental: establecimiento de bases de datos con recopilación de la experiencia de Enresa en tecnologías de desmantelamiento, residuos, impactos radiológicos y los costes asociados.
- Medio ambiente: estudio de la carga ambiental del desmantelamiento, integrado en proyectos generales de cargas ambientales de las diferentes fuentes de generación de energía.
- Formación de futuros profesionales: formación de futuros profesionales especializados en proyectos de desmantelamiento.

El *Centro Tecnológico Mestral* pretende erigirse por tanto, en un medio de transmisión de conocimiento a científicos nacionales e internacionales para el perfeccionamiento de los proyectos de desmantelamiento de instalaciones nucleares, en función de los avances tecnológicos disponibles.

14. CONCLUSIONES

- El *Plan de Desmantelamiento y Clausura de la central nuclear Vandellós I a Nivel 2* desarrollado por Enresa (1998-2003), surge por la necesidad de desmantelamiento de esta central a consecuencia del incendio originado en un grupo turbo-alternador. El incidente, ocurrido en octubre de 1989, no tuvo implicaciones radiológicas.
- El desmantelamiento a *Nivel 2* incluye, también bajo la responsabilidad de Enresa, un periodo de latencia del cajón del reactor y sus elementos internos de 25 años para el decaimiento de su actividad a niveles radiológicos mínimos, antes de su desmantelamiento a *Nivel 3* con la liberación final del terreno.
- El desmantelamiento de una central nuclear es la primera vez que se ejecuta en España, constituyendo el *Plan* ejecutado uno de los primeros a nivel mundial en centrales nucleares de este tipo y potencia. Por ello, la tecnología, la metodología y las distintas técnicas de operación utilizadas han sido diseñadas específicamente y utilizadas por primera vez en este proyecto.
- El *Plan* ha sido diseñado y ejecutado atendiendo a los objetivos prioritarios de realización de todas las actividades de desmantelamiento con la máxima garantía de protección y seguridad para los trabajadores y la prevención de impactos ambientales radiológicos y convencionales.
- En materia de prevención de impactos, el *Plan* incluyó un *Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental* para la vigilancia y control de los aspectos radiológicos y un *Plan de Vigilancia Ambiental* para la vigilancia y control de los aspectos ambientales convencionales, sin que se haya producido en ambos aspectos incidencia relevante alguna, manteniéndose los valores obtenidos en las 30 estaciones de muestreo instaladas muy por debajo de los requeridos.
- En materia de seguridad física no se ha producido incidencia alguna destacable y en materia de siniestrabilidad laboral se finalizó el desmantelamiento con 0 accidentes.



- Los *Planes de Desclasificación* de materiales implantados han hecho posible reducir en un 12 % la producción de residuos radiactivos de baja y media actividad estimada en el proyecto. Respecto a los materiales desclasificados procedentes de partes activas han sido reciclados interna o externamente prácticamente el 100% de su producción.
- Todos los materiales y residuos procedentes de partes convencionales (no radiactivas), han sido gestionados por gestores autorizados externos.
- Ha sido construido un nuevo edificio para protección de la intemperie del cajón del reactor, reduciéndose en 33 m. su altura respecto al existente originalmente y más del 75% su volumen.
- Todos los trabajos realizados han sido sometidos a un *Programa de Garantía de Calidad* diseñado específicamente para la instalación, emitiéndose más de 500 procedimientos y la realización de 50 auditorías y más de 800 inspecciones.
- En materia de empleo se han generado 2.750.000 horas de trabajo y la participación de 63 empresas, con una media diaria de 323 trabajadores en planta de los que el 70% eran de procedencia local.
- Durante el proceso de desmantelamiento Enresa ha mantenido una política de total transparencia de las actuaciones, siendo visitada la instalación por más de 24.000 personas.
- Se ha construido en la instalación el *Centro Tecnológico Mestral* para la investigación y desarrollo, entre otros objetivos, de nuevas metodologías que permita el desmantelamiento de futuras instalaciones cada vez de forma más eficaz y al menor coste posible. Ello va a propiciar situar a España en la vanguardia a nivel internacional en este tipo de actuaciones.