

EL IMPACTO ECONÓMICO DEL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR EN ESPAÑA



JUNIO 2016

ABAY ANALISTAS ECONÓMICOS Y SOCIALES PARA GREENPEACE



Equipo de trabajo de Abay Analistas Económicos y Sociales

M^a Isabel Martínez Martín (Directora)

Ángeles Cámara Sánchez (Universidad Rey Juan Carlos)

Miquel Correa Secall

Nuria Guilló Rodríguez

Leila Rodríguez Florentín

INTRODUCCIÓN.....	5
CAPITULO I. EL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR Y SU ANÁLISIS ECONÓMICO: ESTADO DE LA CUESTIÓN I	8
INTRODUCCIÓN.....	9
1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES PREVIAS	10
2. EL COSTE DEL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR	12
2.1. Metodologías para la estimación de los costes del desmantelamiento nuclear.....	12
Estimación de costes del desmantelamiento nuclear.....	13
Aspectos metodológicos en algunas experiencias internacionales recientes	16
2.2. Elementos del coste del desmantelamiento nuclear y sus factores determinantes	21
Componentes de los proyectos de desmantelamiento nuclear.....	21
Grupos de coste de los proyectos de desmantelamiento.....	23
Factores y condicionantes de la variabilidad en la estimación de los costes.....	25
Algunas experiencias internacionales recientes.....	32
CAPÍTULO II. EL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR Y SU ANÁLISIS ECONÓMICO: ESTADO DE LA CUESTIÓN II	41
1. EL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR	42
1.1. Empleo y otros costes socioeconómicos en las comunidades locales	43
1.2. Estudios de impacto socioeconómico	49
Dounreay.....	51
Maine Yankee	53
Vandellós I	54
2. LA FINANCIACIÓN DEL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR	57
2.1. Cuestiones generales	57
2.2. Prácticas de financiación a nivel internacional	61
2.3. La financiación del desmantelamiento nuclear en España	66
CAPÍTULO III. IMPACTO ECONÓMICO DEL DESMANTELAMIENTO DE LAS CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA.....	72
1. Introducción	73
2. Escenarios técnicos del desmantelamiento nuclear	74
2.1. La sustitución de energía nuclear por otras fuentes	75
2.2. El aumento de potencia en las fuentes de energía renovables	78
2.3. El desmantelamiento de las centrales nucleares	79
2.4. La gestión de los residuos radiactivos.....	80
3. Impacto económico del desmantelamiento nuclear. Escenarios parciales	83
3.1. La sustitución de energía nuclear por otras fuentes	85
3.2. El aumento de potencia en las fuentes de energía renovables	87
3.3. El desmantelamiento de las centrales nucleares	89
3.4. La gestión de los residuos radiactivos.....	91

4. Impacto económico del desmantelamiento nuclear. Escenario global	93
4.1. Impacto económico	93
4.2. Impacto sectorial.....	96
4.3. Impacto sobre el empleo	97
4.4. Impacto fiscal	98
CAPÍTULO IV. PRINCIPALES CONCLUSIONES	99
1. El desmantelamiento nuclear en el análisis económico.....	100
2. La financiación del desmantelamiento nuclear	101
3. El impacto económico del desmantelamiento nuclear en España.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXO I. ASPECTOS INTRODUCTORIOS.....	110
1. La energía nuclear	111
Historia de las Centrales Nucleares en España.....	112
2. El proceso de desmantelamiento	114
3. La gestión de los residuos	116
ANEXO II. METODOLOGÍA INPUT OUTPUT PARA LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO	122
1. La metodología input output para el cálculo del impacto económico	123
2. Actualización de la Tabla Input-Output.....	125
3. Desagregación de la Tabla Input-Output.....	126
4. Aproximación al tipo de empleo creado	127
ANEXO III. IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL DESMANTELAMIENTO DE LA CENTRAL NUCLEAR DE JOSÉ CABRERA.....	128
Relación de tablas	132
Relación de gráficos	134

INTRODUCCIÓN

El cierre progresivo de las instalaciones nucleares es una de las demandas de Greenpeace, Crea residuos nucleares peligrosos para la salud y el medio ambiente que tardan cientos de años en degradarse, y los accidentes nucleares arruinan regiones vastísimas.

Según los datos de Red Eléctrica de España (REE, 2016), en el año 2015, la energía nuclear representó alrededor del 21,7% de la electricidad producida en España, mientras que la generación renovable aportó el 36,9% de la electricidad.

A nivel internacional, hasta el año 2015, se había producido ya el desmantelamiento de 157 centrales nucleares, 95 de ellas en Europa¹ y para el año 2025, un tercio de las plantas que se encuentran actualmente operando en el continente habrán cumplido su período de vida útil. De hecho, algunos países de nuestro entorno están avanzando aún más en esta materia, como es el caso de Alemania, donde se ha apostado por el abandono completo de la energía nuclear, estableciendo el cierre de todas sus plantas antes del año 2022.

En este contexto, y teniendo en cuenta que el parque nuclear español tiene, en la actualidad, 33 años de vida operativa media y su vida de diseño acabará en el año 2028², es de interés conocer qué repercusión económica puede tener el desmantelamiento de las instalaciones nucleares en España.

Así, el proyecto que aquí se presenta pretende contribuir al debate y la toma de decisiones sobre el momento del cierre de las centrales nucleares ubicadas en España y el modelo energético al que se debe avanzar con urgencia por motivos ambientales y, que, como se verá a lo largo de este informe, no sólo no tendrá un impacto negativo sobre la economía sino que podría suponer un importante estímulo sobre la misma.

En este sentido, el objetivo principal de este proyecto es la medición del **impacto económico**, en términos de empleo y PIB, **que tendría el desmantelamiento de las centrales nucleares en España**. Asimismo, y dado que es un requisito previo de la modelización, se cuantifican las inversiones requeridas y se identifican las ramas que recibirán sus principales impactos. Por último, se profundiza en el tipo de empleo que se creará en el proceso de desmantelamiento nuclear en España.

Este análisis servirá de apoyo a la consecución del objetivo político de un avance notable de las energías renovables en el conjunto de la energía producida y contribuirá a motivar al Estado a comprometerse con dicho objetivo. La estimación del

¹ <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ShutdownReactorsByCountry.aspx>

² Según hipótesis habituales de ENRESA, la vida útil de una central es de 40 años.

impacto macroeconómico del desmantelamiento, en la medida que visibiliza y concreta importantes partidas de costes vinculadas a la energía nuclear, mejora la transparencia del sistema eléctrico nacional y sentará las bases para un debate público informado sobre el modelo energético futuro, apoyado en una aproximación más completa al coste real de la energía nuclear.

Para dar respuesta a estos objetivos, el informe se ha organizado en cuatro capítulos. En los dos primeros se realiza un análisis del estado de la cuestión en relación con las distintas metodologías utilizadas para la estimación de los costes del desmantelamiento nuclear y sus principales elementos, en el caso del primer capítulo, y se revisan los estudios de impacto socioeconómico del desmantelamiento en el segundo. El tercer capítulo ofrece estimaciones sobre el impacto macroeconómico del proceso de desmantelamiento nuclear en España. El capítulo cuarto recoge los principales resultados y conclusiones del análisis. Por último, el informe incluye tres anexos. El primero de ellos recoge los principales aspectos introductorios a la energía nuclear y al desmantelamiento de las centrales, y se incluye en este informe con la intención de que los lectores que no están familiarizados con el tema puedan adquirir un marco conceptual básico que les permita una mejor comprensión de los resultados presentados en este documento. En los otros dos anexos se detallan distintos elementos del enfoque metodológico adoptado en este proyecto; y se ofrece un breve resumen sobre el impacto en el empleo del cierre de la Central de José Cabrera (Guadalajara), al ser esta la única planta en España que ha cesado su actividad definitivamente, de manera programada, al final de su ciclo de funcionamiento.

**CAPITULO I. EL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR Y SU
ANÁLISIS ECONÓMICO: ESTADO DE LA CUESTIÓN I**

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente capítulo es dar a conocer el estado de la cuestión en relación al análisis económico del desmantelamiento nuclear. Los objetivos que se pretenden conseguir con ello son:

- Identificar las metodologías más adecuadas para el análisis de impacto del desmantelamiento nuclear.
- Identificar los principales componentes del impacto directo asociados al desmantelamiento nuclear, en términos económicos y de empleo.
- Obtener los parámetros básicos para el análisis, así como las fuentes de variabilidad del mismo.
- Identificar efectos de carácter cualitativo.

Para lograr el objetivo, las fuentes de información utilizadas son básicamente la literatura y documentación más reciente en relación con el ámbito de estudio, especialmente de carácter internacional, para poder recoger experiencias que puedan servir de modelo o referencia para el análisis de impacto que se realiza posteriormente. Para contextualizar, se utiliza también en ocasiones la información disponible en las páginas web oficiales de los organismos reguladores de cada país en relación con la energía nuclear, así como las agencias internacionales que se ocupan y regulan este ámbito de estudio.

El capítulo sigue el siguiente orden: después de una breve introducción, se presentan las principales metodologías de análisis del desmantelamiento nuclear conocidas hasta la fecha, incluyendo el análisis de impacto económico; posteriormente, se expone de forma más exhaustiva los componentes del coste de los proyectos de desmantelamiento nuclear, así como sus factores determinantes; y, acto seguido, el impacto social del desmantelamiento, especialmente el relacionado con el empleo; por último, se presenta el estado de la cuestión en cuanto a la financiación del desmantelamiento nuclear.

1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES PREVIAS

Es un hecho cierto que, al final de la vida de cualquier planta de producción de energía nuclear, esta necesita ser descontaminada de sustancias radioactivas y desmantelada, de forma que el emplazamiento original de la planta pueda reconvertirse a otros usos sin peligro alguno para la salud de la población local y para el medioambiente. Además, motivaciones económicas y técnicas pueden obligar también al cierre de las instalaciones nucleares a lo largo de su vida. El desmantelamiento nuclear es, por tanto, un hecho necesario e inevitable y, por su fuerte impacto en las comunidades locales, debe ser estudiado y controlado por la sociedad³.

Ante todo, y a efectos de la revisión de literatura, es importante hacer una mención explícita al significado de la palabra “desmantelamiento” en castellano, en relación a la acepción que puede tomar la palabra en otros idiomas, especialmente en inglés, y que es el más común en la literatura en este ámbito, cuya revisión se presenta en este capítulo. Así, mientras en este último idioma se utilizan los vocablos “*decommissioning*” y “*dismantling*” para referirse, en el primer caso, al proceso administrativo que consiste en retirar la licencia a la empresa operadora y pasarla a la empresa responsable del desmantelamiento, para que una vez se ha finalizado con éxito el proceso situarla ya fuera de la regulación pública, y por otra parte, en el segundo caso, al proceso físico de deconstrucción de la central nuclear, en castellano se utiliza indistintamente la palabra “desmantelamiento” tanto para un proceso (el administrativo) como para el otro (el físico).

En este informe se utilizará el término “desmantelamiento” para referir, normalmente, al conjunto del proceso, es decir, todas las actividades que se llevan a cabo desde el fin de las operaciones de producción de energía, como consecuencia de la retirada de la licencia de actividad por parte de la Administración, hasta la restauración del emplazamiento original de la planta, incluyendo el proceso físico de desmantelamiento de las instalaciones.

En la actualidad, el proceso de desmantelamiento nuclear requiere, en la mayoría de países, incluyendo a España, y a efectos legales, de la elaboración de un Plan de Desmantelamiento, elaborado y/o supervisado por una entidad pública reguladora, en el que se desarrolla, como componente fundamental del mismo, un análisis económico consistente en una estimación de los costes que conllevará el proceso.

³ European Parliament (2013)

La estimación de costes, más allá de cumplir un requerimiento legal, satisface distintas funciones prácticas, entre las que destacan las dos siguientes: puede servir como base para escoger la estrategia de desmantelamiento más adecuada desde el punto de vista económico, así como también, y sobre todo, para determinar el volumen de financiación necesario para cubrir los costes del proceso (Nuclear Energy Agency, NEA, 2012).

Si bien las estimaciones de costes son el principal componente de los análisis económicos al respecto del desmantelamiento nuclear, y si bien asegurar una financiación suficiente para cubrir estos costes es el objetivo principal de la mayoría de estudios, hay también experiencias de análisis que se acercan más al propósito general del presente proyecto, que es el de conocer no sólo el impacto económico del proceso, sino también su impacto social, especialmente en las comunidades locales.

Es importante destacar también que es cada vez más una práctica común realizar los estudios económicos sobre el desmantelamiento nuclear, incluso de forma previa a la construcción de las centrales nucleares. Posteriormente, son actualizados de forma regular, tanto durante la fase de operación de la planta nuclear, como en el período de transición hacia el cierre de operaciones de la planta y durante el proceso de desmantelamiento (2012, NEA).

Si bien el marco general regulatorio para el desarrollo de los análisis económicos sobre desmantelamiento, y en especial las estimaciones de costes, lo proporcionan las legislaciones de las Administraciones Públicas de cada país, en los últimos años se viene estableciendo un estándar en la industria, que ofrece el marco técnico en el cual desarrollar este ejercicio de estimación, y que lo proporcionan principalmente las siguientes instituciones de carácter internacional:

- Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA, en sus siglas en inglés, en adelante) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU)
- Agencia de la Energía Nuclear (NEA, en sus siglas en inglés en adelante) de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico).
- Comisión Europea (CE, en adelante)

Es este el motivo por el que la revisión de literatura necesaria para conocer el estado de la cuestión del análisis económico del desmantelamiento nuclear, que se presenta en este capítulo, se basa en buena parte en los trabajos publicados por las instituciones mencionadas, con aportaciones complementarias de documentos provenientes de las propias Administraciones Públicas nacionales (Consejo de Seguridad Nacional y Enresa) y de la escasa literatura académica al respecto, más centrada, eso sí, en el impacto socioeconómico y en el empleo del desmantelamiento.

En este último sentido, merece la pena destacar el ejercicio de síntesis de la materia que recoge el capítulo “Financing and Economics of Nuclear Facility Decommissioning”, escrito por La Guardia, en libro editado por Michele Laraia (2012, ed.), vista la relevancia otorgada al autor en documentos históricos en relación al análisis económico del desmantelamiento nuclear.

Hasta el año 2015, más de 157 centrales nucleares habían sido desmanteladas en el mundo, de las cuales 95 en Europa y 33 en Estados Unidos⁴. Dentro de Europa, son el Reino Unido, Alemania y Francia los países que cuentan con una mayor experiencia en los procesos de desmantelamiento nuclear, puesto que son en los que más plantas nucleares se han desmantelado o están en proceso de hacerlo después del final de las operaciones (29, 27 y 12 respectivamente en cada país), y es por este motivo que son estos países, junto con Estados Unidos, en los cuales se han revisado algunos casos para conocer el estado de la cuestión del análisis económico del desmantelamiento nuclear a nivel internacional, que se presenta a lo largo del capítulo.

2. EL COSTE DEL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR

2.1. Metodologías para la estimación de los costes del desmantelamiento nuclear

En este apartado se realiza una revisión de las metodologías de análisis del impacto del desmantelamiento nuclear que se han desarrollado hasta la actualidad en base, particularmente, a las experiencias previas de desmantelamiento en Europa y los EE.UU.

Debido a la función principal que cumplen normalmente los análisis económicos en relación al desmantelamiento nuclear, esto es, conocer el coste que supone el proceso para controlar así la financiación necesaria para llevarlos a cabo, una gran parte de los documentos consisten en una estimación de los costes de las distintas actividades que forman parte del largo proceso de desmantelamiento.

En cambio, si bien también los hay, son menos los análisis consistentes en estudiar el impacto socioeconómico de este proceso en las comunidades locales, ya sea en términos de empleo o en otros aspectos cuantitativos y cualitativos de carácter social y económico. Por la importancia que voluntariamente se presta a este último tipo de análisis, se presentan en este apartado solamente los aspectos metodológicos de las

4

<https://www.google.com/url?q=https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ShutdownReactorsByCountry.aspx&sa=D&ust=1466684560164000&usg=AFQjCNFXpHhvvl9AzRIZsbra0TZ0Kfp3Fg>

estimaciones de coste, así como algunas buenas prácticas internacionales al respecto, mientras que la nota metodológica y la presentación de estudios de caso internacionales se presentan en el tercer apartado de este capítulo.

Estimación de costes del desmantelamiento nuclear

Las prácticas y los resultados de la estimación de costes del desmantelamiento nuclear han variado históricamente entre países y entre tipo de proyectos, debido al grado de definición y ejecución del proyecto y la disponibilidad de datos, principalmente.

Con voluntad de establecer un estándar metodológico del análisis de costes en la industria del desmantelamiento nuclear, de forma que permitiera establecer comparativas en los futuros ejercicios de estimación, y con el objetivo de mejorar la gestión de los proyectos de desmantelamiento, las tres principales instituciones a nivel global que contemplan este proceso industrial en su ámbito de estudio (IAEA, NEA y CE), publicaron ya en 1999 el resultado del primer gran esfuerzo de acción coordinada en este sentido (NEA, 1999).

La referida publicación consiste principalmente en una lista exhaustiva de ítems a tener en cuenta en los ejercicios de estimación de costes de los procesos de desmantelamiento nuclear, clasificada por familias de coste.

Partiendo de este documento histórico de referencia, las instituciones internacionales recientemente mencionadas publicaron su actualización en 2012, con el nombre de *“International Structure for Decommissioning Costing”* (NEA, 2012), después de haber consultado su uso por distintas organizaciones de varios países en los años precedentes, y contando con un mayor número de casos de desmantelamiento nuclear a nivel mundial.

La publicación es, a día de hoy, el documento de referencia para el análisis de costes de los proyectos de desmantelamiento nuclear en todo el mundo. En él se establece una jerarquía de niveles (grupos y subgrupos de coste), a partir de las distintas actividades en las que se puede ir desglosando el proceso y, a los cuales, se asocian categorías de coste. En el próximo apartado se explica en detalle esta jerarquía, así como el tipo de actividades y categorías de coste.

Este punto se centra en las distintas aproximaciones metodológicas con las que se han venido realizando las estimaciones de coste del desmantelamiento nuclear y, para ello, el análisis se centra en primer lugar en los documentos recapitulativos elaborados por la NEA, la IAEA y la CE (NEA, 2012; NEA, 2015), para luego acudir a casos de

estudios concretos que se han llevado a cabo en los principales países que han realizado proyectos de desmantelamiento nuclear.

Según los citados documentos, algunas de las prácticas más comunes de estimación de costes de desmantelamiento nuclear son las siguientes:

- **Técnica “bottom-up”:** consiste en multiplicar el coste por unidad de material (volumen o peso) a la cantidad total de material que debe ser desmantelado, descontaminado o eliminado. Los costes directos de empleo, el equipamiento de las instalaciones, los consumibles y los costes indirectos, forman parte del cálculo de estos costes unitarios. Este proceso implica, pues, en primer lugar, desglosar en detalle el proyecto en tareas o actividades de trabajo, estimando la cantidad de trabajo, materiales/equipos y consumibles necesarios para cumplir con cada una; estipular la duración de cada tarea y, entonces, agregar los cálculos.
- **Analogía específica:** la aplicación de esta metodología depende básicamente del conocimiento de los costes usados en estimaciones previas de proyectos anteriores, que sirven como base para el cálculo de los elementos de coste del proyecto actual. Igualmente se puede aplicar el ejercicio para calcular la duración del proyecto. La clave de esta metodología radica en conocer exactamente las diferencias del proyecto actual con el de referencia (en cuanto a tamaño del proyecto, complejidad de las operaciones, costes laborales y otros elementos o características), para hacer los ajustes pertinentes en la estimación del coste.
- **Estimación paramétrica:** esta práctica requiere de la disponibilidad de bases de datos históricas en sistemas similares para hacer, a partir de ahí, un análisis estadístico, consistente en trazar correlaciones entre los factores de coste y los otros parámetros del sistema. El objetivo es, pues, encontrar las ecuaciones que mejor pueden estimar los costes del proyecto actual a partir de la disponibilidad de datos históricos sobre los elementos o factores de coste. Las ecuaciones trasladan automáticamente la información técnica (los parámetros, la fuente del coste) en resultados de coste. Esta metodología estadística puede ser muy útil en las fases iniciales de los proyectos, cuando se desconoce el alcance de estos, si bien su utilidad se limita a las asunciones que deban hacerse para diseñar los modelos y a la disponibilidad de datos.
- **Revisión y actualización de costes:** sencillamente, consiste en realizar una estimación de costes asumiendo los resultados de las estimaciones previas de proyectos similares y actualizándolos.

- **Opinión de personas expertas:** como última opción, a falta de datos disponibles o de la imposibilidad de aplicar las metodologías anteriores, puede plantearse un ejercicio de carácter cualitativo, consistente en la consulta reiterada a distintos/as expertos/as para establecer, de forma consensuada, una posible estimación del coste del proyecto.

En la siguiente tabla (Tabla 1) se resumen las ventajas y desventajas de las distintas metodologías de estimación presentadas.

Tabla 1. Comparación entre metodologías de estimación de costes de desmantelamiento nuclear

Metodología de estimación	Ventajas	Desventajas
"Bottom-Up"	Máxima precisión, puesto que se parte del inventario real a descontaminar y desmantelar.	Requiere de una descripción detallada del inventario, y de los costes del personal laboral, los materiales y el equipamiento para el cálculo de los costes unitarios.
Analogía específica	Puede ser preciso el cálculo si las estimaciones previas se ajustan apropiadamente por diferencias en tamaño, inflación, materiales, equipamiento y fuerza de trabajo.	Los ajustes a realizar requieren documentación detallada e introducen aproximaciones que reducen la precisión de la estimación.
Análisis paramétrico	Adecuado para grandes instalaciones en las que no hay inventario disponible.	Las aproximaciones basadas en áreas o volúmenes introducen imprecisiones adicionales. No es adecuado si el objetivo del análisis es la planificación de las actividades de desmantelamiento.
Revisión y actualización de costes	Adecuado para grandes instalaciones en las que no hay inventario disponible. Adecuado para revisar previas estimaciones.	No hay forma de trazar el inventario actual. No es adecuado si el objetivo del análisis es la planificación de las actividades de desmantelamiento.
Opinión de expertos	Adecuado cuando está disponible tal opinión. Se puede utilizar para calcular la productividad de pequeñas tareas a partir de la experiencia del experto.	La opinión puede no ser específica para determinadas actividades, y no reflejar las limitaciones radiológicas del proyecto.

Fuente: NEA, 2015

La metodología que se ha usado de forma mayoritaria hasta la fecha es la técnica "bottom-up", en base a una supuesta planificación detallada del trabajo a realizar para finalizar con éxito el proyecto de desmantelamiento nuclear. El desglose exhaustivo en tareas, el conocimiento del alcance material y temporal que supone el proyecto y el cálculo a partir de los costes unitarios (definiendo previamente la unidad material), permiten una estimación precisa y, a la vez, adaptable, de los costes de un proyecto de desmantelamiento. Este enfoque fue originariamente desarrollado y presentado

como guía orientativa en el marco del *Atomic Industrial Forum/National Environmental Studies Project* por T.S. La Guardia (La Guardia, 1986).

Aspectos metodológicos en algunas experiencias internacionales recientes

La ISDC (International Structure of Decommissioning Costing, en sus siglas en inglés, ISDC en adelante) se ha complementado recientemente, en los últimos tres años, con dos trabajos de referencia en cuanto a las buenas prácticas en relación a la gestión de los proyectos de desmantelamiento nuclear y la metodología para la estimación de sus costes: uno elaborado por una consultora privada por encargo de la Comisión de Control Presupuestario del Parlamento Europeo (EP, 2013), y otro elaborado por la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (NEA, 2015). Ambos presentan casos recientes interesantes en relación a metodologías utilizadas por algunos países en sus cálculos de costes.

El documento comisionado por el Parlamento Europeo en 2013, con el objeto de recomendar las mejores prácticas para el desmantelamiento nuclear de las plantas de Bulgaria, Lituania y Eslovaquia, se elabora a partir de las experiencias de Francia, Alemania y Reino Unido y establece, como síntesis, las siguientes bases para llevar a cabo de forma fiable las estimaciones de costes de los proyectos de desmantelamiento:

- Existencia de un plan de desmantelamiento que cubra todo el trabajo a realizar, todas las tecnologías que deban aplicarse, y todo el personal y servicios externos necesarios, esto es, un plan detallado al máximo;
- Conocimiento de las características de masa, tipo, actividad y contaminación de todos los materiales que deben eliminarse, es decir, un inventario exhaustivo de los materiales; y
- Existencia de un plan de gestión de los residuos, a partir del conocimiento de las necesidades en cuanto a tratamiento, descontaminación, acondicionamiento y envase de todos los materiales que deben almacenarse.

En particular, el documento destaca, como caso más ejemplar en cuanto a metodología para la estimación y gestión de costes, el de los procedimientos seguidos por *Electricité de France* (EDF, en adelante), la empresa responsable de la mayoría de proyectos de desmantelamiento en Francia, entre los que se encuentran los 9 cuyo resultado de la estimación se publica en EP, 2013. Se explica a continuación la metodología utilizada por EDF, tanto en el estudio de estos 9 reactores franceses actualmente en desmantelamiento como en el cálculo del coste del desmantelamiento para la flota de 58 reactores de EDF en todo el mundo (caso publicado tanto en EP, 2013, como también en NEA, 2015).

Tanto en el primer como en el segundo caso, los costes de desmantelamiento son periódicamente revisados por parte de EDF para minimizar las incertidumbres en las estimaciones. Estas estimaciones se realizan a partir de todos los datos técnicos, financieros y contractuales disponibles en el momento en que se hacen los cálculos. Las operaciones que deben llevarse a cabo para completar el desmantelamiento se listan de forma exhaustiva, y los costes para cada operación son evaluados usando parámetros relativos a las cantidades de material a procesar, los costes unitarios y los tiempos de finalización de las operaciones (en este sentido, el proceso sigue la pauta estándar marcada por el ISDC, 2012).

Se establecen entonces distintos escenarios de coste para todos estos parámetros, y se asigna una probabilidad de ocurrencia a cada uno. El análisis de sensibilidad posterior sirve así para identificar el grado de incertidumbre asociado a la estimación. Finalmente, se lleva a cabo la estimación de costes, incorporando la información actual y pasada de los costes de los trabajos de ingeniería, operación de la planta y gestión de residuos.

Las estimaciones realizadas para los 9 reactores de EDF en Francia a partir de estos procedimientos pueden considerarse como una referencia de buena práctica en la industria, puesto que se asientan sobre planes de desmantelamiento específicos y detallados para cada planta nuclear, con una actualización continua de los datos y, también, unos mismos precios base para facilitar la comparación entre estimaciones.

En el segundo caso, para el cálculo de la flota de 58 reactores, ejercicio realizado dos veces en los últimos años por parte de EDF (publicados respectivamente en EP, 2013; y NEA, 2015), merece la pena también entrar en detalle sobre la metodología, basada en un enfoque de dos pasos:

1. En el primer paso, se calculan los costes para una planta nuclear tipo, asumiendo una serie de características estándar: tecnología PWR (agua presurizada, en sus siglas en inglés), 40 años de vida operativa y desmantelamiento inmediato (en el ejercicio publicado en EP, 2013); o 4 unidades de reactores PWR, con potencia de 900 MWe (en el ejercicio publicado en NEA, 2015).
2. Y en el segundo, se hace la extrapolación a la flota de 58 reactores, destacando la particularidad, en uno de estos ejercicios (NEA, 2015) de tener en cuenta diferentes tamaños de reactor (1.300 MWe y 1.400 MWe), para lo cual los costes de referencia se dividen en fijos o independientes del tamaño y variables o dependientes del tamaño.

En el apartado dos de este capítulo se presentan los resultados derivados de estos procedimientos metodológicos en las estimaciones de costes.

Más allá de la experiencia francesa, se ha considerado interesante destacar que, según el estudio del Parlamento Europeo, el caso de Sellafield, en el Reino Unido, no puede ser en ningún caso objeto de ejemplo o buena práctica para futuras estimaciones, porque se detectan muchos fallos en la planificación, y el caso de las centrales operadas en Alemania tampoco ofrece buenas prácticas relevantes a nivel de metodología de estimación de costes, más allá del hecho que refuerza el uso de las tecnologías de la información para el cálculo de las estimaciones (el operador cuenta con un *software* específico de gestión de proyectos de desmantelamiento de centrales nucleares que asegura una óptima planificación y gestión del proyecto, también a nivel de costes).

Se considera pertinente, por tanto, complementar lo expuesto anteriormente con algunas notas metodológicas a las que se hace referencia en el documento de la Agencia de la Energía Nuclear de 2015, en particular de las experiencias de Italia y el Reino Unido.

Por una parte, la empresa estatal italiana encargada de los proyectos de desmantelamiento nuclear, Sogin, llevó a cabo sus primeras estimaciones de costes con una metodología basada en las siguientes hipótesis:

- Técnica “bottom-up” con la ayuda de un modelo de referencia;
- Estimación de costes específica para cada planta nuclear, considerando las analogías y diferencias entre todas;
- Consulta a especialistas y personas expertas en las fases iniciales de la estimación;

En los últimos años, la operadora actualizó las estimaciones de coste en base a la experiencia acumulada, mejoras en el diseño y cambios en el contexto. Además, de acuerdo con el contexto regulatorio y normativo del Estado italiano, las estimaciones son periódicamente revisadas y actualizadas, lo que constituye también una buena práctica.

Por otra parte, la Autoridad para el Desmantelamiento Nuclear del Reino Unido, propietaria de todas las instalaciones nucleares en el país, establece a las empresas que operan el desmantelamiento nuclear bajo su licencia una serie de requisitos mínimos a cumplir para llevar a cabo el proceso de estimación de costes, para mejorar así los resultados logrados hasta la fecha. Entre los requisitos, la Autoridad incluye la definición detallada de las tareas necesarias para llevar a cabo el proyecto de

desmantelamiento, una completa identificación de los elementos de coste (laborales, subcontrataciones, materiales, equipos y otros), y la identificación y valoración de riesgos e incertidumbres, para obtener así un Coste Total Estimado.

Finalmente, como recapitulación de esta exposición de metodologías para la estimación de costes del desmantelamiento nuclear, se utilizan las siguientes tablas (NEA, 2010) (Tabla 2), en las que se resumen precisamente las metodologías utilizadas por distintos países (Bélgica, Francia, Italia, Japón, España, Suecia, Canadá, Alemania, Países Bajos, Eslovaquia, Reino Unido, Estados Unidos) y se exponen los motivos por los que los ejercicios de estimación realizados en estos países se equivocaron. Entre los motivos expuestos destacan los siguientes:

- Cambios en la estrategia de desmantelamiento y en el tipo de restauración final del emplazamiento nuclear;
- Cambios normativos ;
- Cambios en la planificación de la gestión de los residuos.

Tabla 2. Prácticas de estimación de costes a nivel internacional según NEA, 2010

PAÍS	Bélgica	Francia	Italia	Japón	España	Suecia
ÍTEMS a ANALIZAR						
Organización de costes	La mayoría utilizan un desglose detallado de costes para la estimación, pero no siempre basado en la Lista de Elementos de Coste del <i>Libro Amarillo, LA en adelante en esta Tabla</i> (NEA, 1999):					
	Basado en LA	Desglose propio	Desglose propio	Desglose propio	Utiliza el LA	Utiliza el LA
Metodologías y herramientas de estimación de coste, y su impacto en el ciclo de vida del proyecto	Las directrices nacionales en muchos países permiten cierta discreción al operador para escoger la metodología:					
	ONDRAF/NIRAS puede especificar requisitos de información generales, pero no qué método usar	Aproximación por fases en el desarrollo de las estimaciones	Metodología de costes desarrollada por SOGIN	Aproximación lineal relacionada con el peso de los materiales	Metodología desarrollada por el organismo que gestiona los residuos (ENRESA)	Metodología desarrollada por el organismo que gestiona los residuos (SKB)
Causas de los fallos en las estimaciones previas	No hay experiencia en comparar costes estimados con los reales	Cambios en la estrategia original y en las condiciones finales son los factores más importantes	Normativa reguladora inesperada, y tiempo de aprobación de licencias, causando retrasos	Cambios en el alcance de los trabajos (por ejemplo, relacionados con una mayor exigencia en la limpieza de residuos)	Cambios en el alcance, particularmente debidos a normativas legales que causan retrasos en las operaciones	No hay experiencia en la comparación de costes estimados con los reales
PAÍS	Canadá	Alemania	Holanda	Eslovaquia	Reino Unido	Estados Unidos
ÍTEMS a ANALIZAR						
Organización de costes	La mayoría utilizan un desglose detallado de costes para la estimación, pero no siempre basado en la Lista de Elementos de Coste del <i>Libro Amarillo</i> (NEA, 1999):					
	Desglose propio	Desglose propio	A discreción del operador	Utiliza el LA	Desglose propio	A discreción del operador
Metodologías y herramientas de estimación de coste, y su impacto en el ciclo de vida del proyecto	Las directrices nacionales en muchos países permiten cierta discreción al operador para escoger la metodología:					
	El operador tiene opción de utilizar su propia metodología, pero con supervisión del regulador	El operador tiene opción de utilizar su propia metodología	No hay información específica	Código OMEGA basado en el LA	El operador tiene opción de utilizar su propia metodología	Se requiere planificación del ciclo de vida del proyecto – y se sugiere utilizar el peor escenario financiero cuando se evalúan las incertidumbres
Causas de los fallos en las estimaciones previas	La experiencia es muy limitada en la actualidad	Replanteamiento anual para minimizar los costes en el alcance de los trabajos, y actualización regular de los costes unitarios	Cambios en el plan de desmantelamiento o tienen un impacto importante en los costes	No hay cambios en el alcance de los trabajos	Replanteamiento s anuales para minimizar los costes en el alcance de los trabajos	Cambios en los costes son muy sensibles a los cambios en el alcance de los trabajos

Fuente: NEA, 2010.

2.2. Elementos del coste del desmantelamiento nuclear y sus factores determinantes

El objetivo de este apartado es conocer los principales costes en los que se incurre en los proyectos de desmantelamiento nuclear, así como los factores determinantes que son fuente de posibles variaciones en las estimaciones realizadas.

Igual que en el apartado anterior, en el que se ha explicado la metodología utilizada en los análisis económicos del desmantelamiento nuclear, se recogen también las experiencias previas de EE.UU, Francia, Reino Unido y Alemania en la estimación de costes de estos proyectos.

Dos documentos sirven en este caso como referencias clave para el objetivo de este proyecto, los cuales se refuerzan mutuamente. Se trata, por una parte, otra vez, del “ISDC” (NEA, 2012) y, por otra, el “*International Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements*” (NEA, 2010).

Componentes de los proyectos de desmantelamiento nuclear

A continuación se enumeran y describen brevemente los 11 elementos de coste especificados por la ISDC 2012 como actividades principales en la estructura general estándar que sirve de marco para la estimación de costes de proyectos de desmantelamiento nuclear a nivel internacional. Son los siguientes:

1. Acciones previas al desmantelamiento

Incluye todas las actividades que se llevan a cabo antes de la licencia del proyecto de desmantelamiento, incluyendo las actividades de contratación. Se trata principalmente de actividades de ingeniería, planificación y gestión, que conllevan la preparación de toda la documentación previa al proceso de desmantelamiento.

2. Actividades de cierre de las instalaciones

Incluye todas las actividades realizadas durante el período de transición que va desde el cierre de las operaciones hasta que se obtiene la licencia para el desmantelamiento. El propósito de estas actividades es, pues, preparar las instalaciones para el desmantelamiento, utilizando el propio personal de la operadora y, eventualmente, servicios especializados.

Cabe tener en cuenta en este tipo de actividades que en ocasiones son financiadas con fondos distintos a los dedicados al desmantelamiento. Esta situación depende de la normativa y la regulación de cada país, por lo que en el estudio a realizar debe definirse en el marco de los supuestos y alcance del proyecto.

3. Actividades adicionales para el almacenaje seguro o el encapsulamiento

Incluye las actividades preparatorias que necesitan ser implementadas en los casos en los que la estrategia de desmantelamiento escogida sea el almacenamiento seguro o el encapsulamiento. El objetivo de las actividades en este caso es el de asegurar la estabilidad y seguridad a largo plazo de las instalaciones durante el período de almacenamiento previo al desmantelamiento final.

4. Actividades de desmantelamiento físico dentro del área controlada

Incluye las actividades de eliminación de los sistemas y estructuras activos y contaminados en el área de control, así como de otros posibles elementos contaminados fuera de dicha área. El desmantelamiento se organiza de acuerdo al tipo de instalación nuclear y de acuerdo al tipo de componentes y materiales que tienen que ser eliminados. Esta supresión de elementos incluye también la descontaminación de las superficies de los edificios, así como de posibles elementos incrustados en ellos o fuera de ellos. No se incluye aquí, en cambio, la gestión de residuos, que forma parte de la siguiente actividad principal.

5. Gestión de los residuos (procesamiento, almacenaje y depósito)

Incluye todas las actividades relacionadas con la gestión de los residuos históricos de la planta nuclear, así como de los residuos resultantes del desmantelamiento dentro del área controlada (actividad 4) y fuera del área controlada (actividad 7). Incluye también el establecimiento de un apoyo operativo para el sistema de gestión de residuos.

6. Operaciones de mantenimiento del emplazamiento

Incluye las actividades relacionadas con la vigilancia y la seguridad del emplazamiento, su mantenimiento, y el monitoreo y control de la seguridad medioambiental y de la radiación. Así se asegura la operatividad de los sistemas auxiliares necesarios para el apoyo de las actividades de desmantelamiento. Es importante resaltar en este punto que este tipo de costes pueden ser especialmente importantes cuando la estrategia a seguir es el desmantelamiento diferido con almacenaje temporal en el emplazamiento nuclear.

7. Desmantelamiento físico, demolición y restauración del emplazamiento

Incluye, en primer lugar, las actividades de desmantelamiento físico y demolición de las instalaciones fuera del área controlada. Se incluye también aquí la limpieza del emplazamiento y el diseño del nuevo paisaje en el que se convertirá el lugar ocupado

por la planta nuclear. Cobra importancia aquí, pues, el estado final del sitio finalmente decidido, ya que los costes de la demolición son muy elevados, y pueden variar bastante en función del alcance que deban tener los trabajos.

8. Gestión del proyecto, ingeniería y apoyo técnico

Incluye todas las actividades relacionadas con la gestión de las actividades de desmantelamiento y el apoyo técnico necesario.

9. Investigación y desarrollo

Incluye las actividades de investigación y desarrollo llevadas a cabo específicamente en el marco del proyecto de desmantelamiento.

10. Combustible y material nuclear

Incluye todas las actividades relacionadas con la gestión del combustible utilizado durante la operación de la planta nuclear, así como los materiales nucleares. Estas actividades pueden estar pagadas por el fondo específico para el desmantelamiento, pero también por fondos propios del operador o por el presupuesto público directamente. Como es una situación que depende del país y del proyecto, debe describirse en los supuestos base para la estimación del cálculo, aunque normalmente el combustible utilizado se transporta desde el sistema refrigerante en el edificio del reactor hasta la instalación externa para el almacenaje de largo plazo.

11. Otros gastos

Finalmente, se incluyen en esta categoría los costes relacionados directamente con el proyecto pero que no caben en las categorías anteriores, como pueden ser los costes sociales⁵. En este apartado entran los apoyos económicos para compensar a la comunidad local afectada por el cierre de la instalación nuclear y sus consecuencias, así como el gasto social en forma de pensiones para los/as trabajadores/as y proyectos de recualificación del personal, y los pagos realizados a las autoridades locales u otras empresas en forma de tasas y primas de seguro.

Grupos de coste de los proyectos de desmantelamiento

Aunque su trascendencia a nivel de puesta en práctica del método propuesto de estimación de costes por parte del ISDC 2012 no es elevada, sí es interesante agrupar los anteriores elementos de coste en categorías, para tener una mejor comprensión de

⁵ Se analizan con detalle los costes sociales en el apartado 3 del presente capítulo.

los proyectos de desmantelamiento nuclear y cómo afectan distintos tipos de coste a la estimación global. Una primera clasificación es la que divide los costes en:

a. Costes dependientes de la actividad: son los costes asociados directamente con el desarrollo de las actividades de desmantelamiento. Este grupo de actividades, que son la mayoría de las que se han descrito en detalle en los 11 puntos anteriores, incluyen, pues: descontaminación; eliminación de los equipos e instalaciones; demolición de las edificaciones; y envase, envío y depósito de los residuos. El coste unitario de estas actividades es el que se aplicará al inventario total de materiales para obtener la estimación total del coste del desmantelamiento, siguiendo el método “bottom-up”.

b. Costes dependientes de los plazos temporales: son los costes asociados a las fases de evolución del proyecto, así como su duración: fase de diseño e ingeniería, gestión del proyecto, gestión del desmantelamiento, obtención de licencia, gestión de la salud y la seguridad en el trabajo, y gestión de la calidad del proceso. Se trata mayoritariamente de costes indirectos o de funcionamiento general, necesarios para el desarrollo del proceso de desmantelamiento, pero no directamente asociados a una actividad concreta, sino vinculados a la fase de gestión por la que transita el proyecto antes de su finalización.

c. Costes colaterales y especiales: se trata de costes que no pueden asociarse directamente a una actividad concreta del proceso, o a una fase de su desarrollo. Ejemplos de estos costes son la adquisición de los equipos necesarios para el desmantelamiento, la preparación del emplazamiento, seguros, tasas de propiedad de los inmuebles o procesamiento de residuos radiactivos líquidos.

d. Costes de contingencia: la contingencia puede definirse como “una provisión específica para elementos de coste imprevisibles en el marco del proyecto definido, y que puede ser particularmente importante donde la experiencia previa que relaciona estimaciones de coste con los costes reales ha demostrado que estos eventos imprevisibles tienen cierta probabilidad de ocurrir” (NEA, 2010).

Otra posible agrupación de costes, y que en este caso sí que es más trascendente en cuanto a la puesta en práctica del modelo de la ISDC 2012, es la que los divide en cuatro tipos. Esta división de costes es exhaustiva, y en ningún caso sustituye la clasificación en 11 actividades, al contrario, ambas se complementan de forma que cada una de las 11 actividades en que el documento ISDC 2012 divide los costes del desmantelamiento puede desglosarse en cualquiera de estos 4 tipos de coste.

1. **Costes laborales:** incluye los salarios, beneficios sociales, vacaciones, jubilaciones, seguros médicos y otros conceptos similares que remuneran al/a trabajador/a. Los costes laborales pueden ser un componente importante del total de costes de desmantelamiento **costes laborales, costes de capital (o inversiones), consumibles y costes de contingencia**, y dependen normalmente de las habilidades y perfil profesional requeridos para llevar a cabo las tareas de desmantelamiento, pudiendo variar entre países y entre tipo de central nuclear⁶. También la productividad puede afectar, directa o indirectamente, a los costes laborales (NEA, 2003).
2. **Costes de bienes de capital** (equipo y materiales): incluyen las inversiones en maquinaria necesarias para el desmantelamiento y la demolición de las instalaciones, como excavadoras o grandes camiones.
3. **Gastos consumibles:** se refiere a las tasas legales, seguros, alquileres, material de oficina y otros consumibles necesarios para el proceso.
4. **Costes de contingencia:** tal y como se ha descrito en la anterior agrupación de costes, se refieren a los costes derivados de situaciones imprevisibles e inciertas en el marco del proyecto a medida que éste avanza.

En función de la actividad y de la fase del proceso de desmantelamiento, pues, estarán presentes cada uno de los anteriores tipos de coste en mayor o menor medida.

Factores y condicionantes de la variabilidad en la estimación de los costes

Se presentan en este apartado los parámetros económicos básicos y otros factores que afectan a la variabilidad del resultado final de la estimación de costes (cost drivers). Algunos de estos parámetros y factores son controlables, y por tanto la variabilidad en el resultado depende de las elecciones realizadas al inicio del proceso analítico, mientras que otros factores son incontrolables y, por tanto, son fuente de mayor incertidumbre e inestabilidad en el cálculo.

En todo caso, hay que realizar una serie de supuestos sobre estos parámetros, de la forma más razonada posible, para acercarse al cálculo del impacto a la realidad futura. Puesto que no son pocos los factores condicionantes, los escenarios que se pueden generar en la estimación son también múltiples y, por tanto, la variabilidad en los resultados puede llegar a ser muy elevada.

⁶ En el estudio sobre el impacto socioeconómico del desmantelamiento de Dounreay (Grangeston, 2012; 13-20), se puede encontrar una relación, en detalle, de los distintos tipos de perfiles profesionales que operan en una central nuclear. En el informe sobre Sellafield (House of Commons, 2013) se entra incluso en el detalle sobre valor de los salarios.

Factores y parámetros controlables

Hay un elemento básico que puede generar cálculos de impacto muy dispares, y éste es el alcance del trabajo a realizar, que viene definido a su vez por tres elementos clave, como son: inventario inicial de los equipos, las instalaciones y el material contaminado (en volumen y tipo); estrategia de desmantelamiento escogida y, por tanto, duración del proceso; y tipo de restauración final del emplazamiento nuclear. Se describe brevemente a continuación, junto con otros factores controlables en el proceso de estimación de costes de proyectos de desmantelamiento.

1. Inventario inicial de los equipos, las instalaciones y el material contaminado

Es evidente que un mayor volumen de equipos e instalaciones a desmantelar, así como de material contaminado a eliminar, determinará de forma decisiva el importe total de los costes del proyecto de desmantelamiento. Será muy importante hacer una valoración y medición lo más realista posible de tales equipos, estructuras y materiales.

En cuanto a los equipos, cabrá tener en cuenta el tamaño y el tipo de reactor. Un mayor tamaño de este implicará también una mayor cantidad de combustible utilizado acumulado; de residuos y de tiempo; y de fuerza de trabajo para las tareas de desmantelamiento, con el consecuente impacto en costes.

En cuanto al material, un buen inventario debe realizarse a partir de diversas fuentes: datos históricos almacenados, entrevistas con el personal de fábrica y mediciones del nivel de radiactividad.

2. Estrategia de desmantelamiento y duración del proceso

Las tres estrategias aceptadas internacionalmente por la industria del desmantelamiento nuclear son las siguientes:

- **Desmantelamiento inmediato.** Las actividades de descontaminación y desmantelamiento físico de la central nuclear se inician inmediatamente después de finalizar las operaciones de generación de energía, de modo que en un breve lapso de tiempo las instalaciones nucleares quedan fuera del control del organismo regulador. Este es el caso, por ejemplo, de la Central de José Cabrera (Zorita)⁷

⁷ Para más información sobre la planificación temporal y las tareas de desmantelamiento de esta central y de Vandellós I, véase, CSN, 2008.

- **Desmantelamiento diferido** y almacenaje seguro. Las actividades de descontaminación y desmantelamiento físico de la central nuclear se llevan a cabo después de un largo período de tiempo (30-60 años normalmente), durante el cual la actividad radioactiva disminuye progresivamente. Este es el caso, por ejemplo, de la Central de Vandellós I en Tarragona)
- **Encapsulamiento.** Se trata de reducir al máximo el área que circunda el material contaminado y radiactivo, y no eliminarlo sino incrustarlo en otro material con una vida incluso más larga (por ejemplo, el cemento), para asegurarse que no hay riesgo de radiactividad.

Cada estrategia tiene sus ventajas y sus desventajas. En el caso del desmantelamiento inmediato, la responsabilidad para completar el proyecto no se transfiere a las futuras generaciones. Además, la experiencia y conocimiento del personal actual de la instalación nuclear se puede utilizar durante el proceso de desmantelamiento.

Por su parte, el desmantelamiento diferido mediante un almacenaje seguro, permite una reducción importante en los niveles de radiactividad, lo que reduce a su vez los peligros para la salud de la población. Sin embargo, los costes de almacenamiento y de vigilancia se incrementan, y no siempre es seguro que las mejoras técnicas que puedan producirse a lo largo del tiempo en estos procesos, permitan reducir los costes.

La estrategia debe decidirse, por tanto, en función de los intereses de los grupos sociales afectados por la decisión, de las posibilidades de financiación, de aspectos temporales, de la disponibilidad tecnológica o incluso del conocimiento disponible por parte del personal laboral de la planta nuclear.

En cuanto a la duración del proceso, se conoce que con una mayor vida operativa de los reactores, se acumula más combustible gastado, más material del reactor contaminado o activado, y más profunda es la contaminación de superficies y estructuras de la central nuclear, con lo que todo ello repercutirá, obviamente, en un mayor coste de desmantelamiento. No sólo eso, sino que es importante conocer también que esta mayor contaminación de las partes directamente vinculadas con el proceso de generación de energía, incrementa la probabilidad que otras estancias y materiales pueden quedar a su vez contaminadas, incrementando de nuevo los costes.

3. Estado final deseado para el emplazamiento

La literatura especifica dos tipos de estado final de los emplazamientos nucleares, en función del tipo de restauración realizada: “Green-field” o restauración medioambiental y paisajística total, de tal forma que no se deja rastro alguno del paso por el emplazamiento de las instalaciones nucleares; y “Brown-field” o restauración parcial, en el que no hay restauración medioambiental y paisajística.

En este punto pueden jugar un papel muy importante los distintos grupos de presión, ya sea la comunidad local o los grupos ecologistas.

4. Disponibilidad de datos

A parte de los elementos que definen el alcance del proyecto, otro factor importante de varianza de los resultados del análisis económico del desmantelamiento es la disponibilidad y la calidad de los datos e información necesarios para el cálculo de los costes, es decir, los datos sobre salarios y otros costes laborales; datos que permitan medir y caracterizar el material contaminado (que serán clave para el cálculo de los costes dependientes de la actividad y la aplicación de los costes unitarios al inventario de material); y datos sobre los costes de bienes de capital o equipo necesarios para llevar a cabo las actividades de desmantelamiento.

5. Disponibilidad de personal, equipos e instalaciones para la gestión de residuos

En este sentido, será muy importante conocer la existencia o no de instalaciones y equipos para procesar los residuos, almacenarlos, transportarlos y depositarlos, así como instalaciones y equipos para almacenar y depositar el combustible usado. Su falta de disponibilidad requerirá de importantes inversiones para llevar a cabo el proyecto de desmantelamiento.

De la misma forma, la existencia o no de personal laboral experimentado en procesos de desmantelamiento y descontaminación nuclear puede suponer un hecho diferencial en el cálculo de los costes del proyecto.

Factores y parámetros no controlables

6. Costes de contingencia

Los costes que entran en la categoría de contingencia pueden ser la principal fuente de variabilidad en las estimaciones. En una primera fase, según el procedimiento estándar, la estimación se hace asumiendo unas condiciones ideales bajo las cuales las actividades se llevan a cabo tal y como se ha definido en el marco del proyecto, sin retrasos, sin interrupciones ni inclemencias del tiempo, sin roturas de equipos y/o

herramientas, sin huelgas de trabajadores/as, sin problemas de envío de residuos u otros cambios en las condiciones de finalización de las operaciones.

Sabiendo que normalmente las condiciones ideales no pueden darse y que, por tanto, hay lugar a imprevistos, se aplica normalmente a las estimaciones un factor de contingencia en el cálculo. Si bien en las primeras estimaciones este factor podía llegar a ser del 25%, actualmente es una práctica común ponderarlo en función de los distintos elementos de coste, y gracias a la acumulación de conocimiento, experiencias y buenas prácticas en las estimaciones, se puede aceptar un factor de contingencia más bajo, acercándose incluso al 10%.

7. Costes de incertidumbre y requerimientos legales, administrativos y medioambientales

Relacionados con los costes de contingencia, hay que tener en cuenta los costes de incertidumbre como otra fuente importante de variabilidad del análisis. Se trata de costes imprevisibles, en este sentido igual que los de contingencia, pero con la diferencia que en este caso se trata de elementos fuera del alcance del proyecto, ya sea en el marco de la coyuntura económica o financiera (fluctuaciones en los tipos de cambio, inflaciones elevadas), o del entorno político o legal (cambios en los impuestos o en las normativas que regulan los ámbitos en los que se desarrollan los proyectos de desmantelamiento nuclear, como la gestión de residuos). (Tablas 3a y 3b)

En este último sentido, y acudiendo al documento de NEA (2010), se ha considerado interesante exponer, de forma sintética y visual, una comparación de la situación en distintos países de estos elementos legales y administrativos que pueden afectar al ejercicio de la estimación de costes de los proyectos de desmantelamiento nuclear.

Tabla 3. Requerimientos administrativos y su impacto en la estimación de costes de desmantelamiento

PAÍS	Bélgica	Francia	Italia	Japón	España	Suecia
Sanciones por incumplimiento de las normativas de desmantelamiento	En plantas en desuso, la sanción es la denegación de una licencia de desmantelamiento. En el caso de solicitudes para construir y operar nuevas plantas, la sanción sería la denegación para obtener la licencia de operación.					
Supuestos y condicionamientos	La mayoría de regulaciones requieren a los operadores proporcionar una explicación y justificación de los supuestos utilizados para la estimación de costes.					
	Estado final del emplazamiento asumido en las estimaciones:					
	"Greenfield" o uso industrial libre	"Greenfield"	"Brownfield" con condiciones sobre los residuos almacenados en el lugar	"Greenfield" o reutilización de la tierra para nuevas plantas nucleares	"Greenfield", pero sujeto a debate entre la autoridad nacional y el operador	Uso industrial libre, preferiblemente para la producción de energía
Requisitos de inclusión de costes en el cálculo	Todas las actividades desde el cierre de la planta hasta la liberación del sitio, incluyendo costes de gestión de residuos	Desmantelamiento físico, gestión del combustible utilizado, reacondicionamiento de residuos viejos, gestión de residuos radioactivos, y seguimiento de centros de depósito	Todas las actividades desde el cierre de la planta hasta la liberación del sitio, incluyendo reprocesamiento del combustible utilizado, gestión de residuos, depósito de residuos y limpieza del sitio	Eliminación de la contaminación, desmantelamiento físico, tratamiento de residuos para su almacenamiento, medida y caracterización de los residuos, gestión de residuos para su depósito, y transporte de residuos	No hay información específica sobre los elementos de coste a incluir	No hay información específica sobre los elementos de coste a incluir
	Todos los países informan que las estimaciones se calculan en unidades monetarias corrientes, realizando posteriormente el cálculo del Valor Actual Neto, teniendo en cuenta la inflación					
	Los empleados de gestión y los costes laborales son específicos de cada planta, y basados en la experiencia reciente de desmantelamiento.					
	Costes de material y equipamiento se obtienen de proyectos previos de desmantelamiento o de vendedores de equipos o contratantes.					
	Sobre la chatarra:					
	Recuperación del coste de la chatarra no se tiene en cuenta	Recuperación del coste de la chatarra se tiene en cuenta	Recuperación del coste de la chatarra se considera como un elemento a parte	Recuperación del coste de la chatarra no se tiene en cuenta	No hay información específica	Recuperación del coste de la chatarra no se tiene en cuenta
	Varios países requieren consideraciones específicas sobre las posibilidades de reducción de costes:					
	Exploración específica de reducción del volumen de residuos	La regulación reconoce el impacto del volumen de residuos en los costes, pero no se explicita cómo exponerlo	Una reducción del 3,29 % para 2009 y 2010 es obligatoria para la operación, seguridad, mantenimiento y costes generales	No hay información específica	No hay información específica	No hay información específica
	Contingencia:					
	Valor de referencia del 15%	15% (EDF)	No se incluye coste de contingencia; cada año se deben justificar las diferencias entre las estimaciones y los costes reales	No hay información específica	A priori no se incluye coste de contingencia, pero se añade un 15 % global al final	Contingencia general del 6 % para todo el proyecto

Fuente: NEA, 2010

Tabla 3. Requerimientos administrativos y su impacto en la estimación de costes de desmantelamiento (cont.)

PAÍS	Canadá	Alemania	Holanda	Eslovaquia	Reino Unido	Estados Unidos
Supuestos y condicionamientos	Estado final del emplazamiento asumido en las estimaciones:					
	A discreción del operador	"Greenfield"	"Greenfield"	"Greenfield"	"Greenfield"	"Greenfield"
Requisitos de inclusión de costes en el cálculo	Planificación y preparación, descontaminación y desmantelamiento completos, restauración y estabilización, revisión de la radiación final, vigilancia a largo plazo del emplazamiento y gestión de residuos	Todos los costes asociados con el desmantelamiento, demolición y limpieza del sitio, incluyendo gestión de residuos, excepto almacenamiento interno del combustible utilizado y residuos de alto nivel	No hay información específica sobre los elementos de coste a incluir	Todas las actividades después del depósito del combustible utilizado	Desmantelamiento de la central al final de su vida útil, eliminación de todas las instalaciones y preparación del emplazamiento para el estado final deseado	Planificación y preparación, descontaminación y desmantelamiento completos, restauración y estabilización, revisión de la radiación final y vigilancia a largo plazo del emplazamiento
	Todos los países informan que las estimaciones se calculan en unidades monetarias corrientes, realizando posteriormente el cálculo del Valor Actual Neto, teniendo en cuenta la inflación					
	Los empleados de gestión y los costes laborales son específicos de cada planta, y basados en la experiencia reciente de desmantelamiento.					
	Costes de material y equipamiento se obtienen de proyectos previos de desmantelamiento o de vendedores de equipos o contratantes.					
	Se utilizan las tarifas por hora del consultor o el contratante	Tarifas laborales del contratante se basan en los costes más recientes de proyectos en marcha. Se revisan anualmente	Tarifas obtenidas a partir del Instituto Nacional de Estadística	Tarifas obtenidas a partir de las tasas actuales del operador	Se utilizan salarios del operador y costes laborales a partir de contratos recientes de trabajo subcontratado	Se utilizan salarios del operador y costes laborales a partir de contratos recientes de trabajo subcontratado
	Sobre la chatarra:					
	Todo el material se debe considerar como residuo. No se permite recuperar el coste de la chatarra	Recuperación del coste de la chatarra no se tiene en cuenta	No hay información específica	Recuperación del coste de la chatarra no se tiene en cuenta	Recuperación del coste de la chatarra se tiene en cuenta	Recuperación del coste de la chatarra no se tiene en cuenta
	Varios países requieren consideraciones específicas sobre las posibilidades de reducción de costes:					
	Planificación del ciclo de vida como un medio para reducir la complejidad y el coste del desmantelamiento	No hay información específica	No hay información específica	No hay información específica	Minimización de residuos debe ser parte del plan de desmantelamiento	Planificación del ciclo de vida como un medio para reducir la complejidad y el coste del desmantelamiento
	Contingencia:					
Varía entre un 10% y un 30%	El código de comercio alemán no permite el cálculo de factores de incertidumbre	No hay información específica	25% en estimación preliminar, 20% en estimación detallada	Modelizado para un nivel de confianza P80	Varía mucho, aunque normalmente el regulador acepta un nivel del 25%	

Fuente: NEA, 2010

Algunas experiencias internacionales recientes

Se presentan y analizan en este apartado los resultados de algunas experiencias internacionales previas en estimaciones de coste, tanto para EE.UU. como para Europa, intentando destacar, en la medida en que se dispongan datos, algunos valores de referencia para los distintos tipos de coste, así como para las variables condicionantes o cost drivers y, también, para los resultados de las estimaciones.

Si bien la cantidad de variables que entran en juego en las estimaciones de desmantelamiento es tan grande que desaconseja realizar comparaciones estrictas entre distintos proyectos, la presentación de algunos casos prácticos previos sirve de orientación, por lo menos, para establecer unos rangos de resultados.

Estados Unidos

La revisión de las estimaciones de costes de los proyectos recientemente desmantelados en EE.UU. (NEA, 2015), que se presentan en la Tabla 4, proporciona información valiosa sobre la variabilidad de los análisis económicos, en particular sobre la importancia de los costes de contingencia y los relacionados con un alargamiento del alcance temporal del proyecto debido a imprevistos.

De los 10 reactores, 8 son del tipo PWR (o reactor de agua presurizada), en los que se ha centrado el análisis en un primer momento, mientras que 2 son BWR (reactor de agua en ebullición, por sus siglas en inglés). Apartando el caso extremo de Three Mile Island (unidad 2), con sólo 1 año y medio de vida antes del accidente que la obligó a cerrar, el resto de casos se mueven en una vida media entre 14 y 30 años. En cuanto al tamaño del reactor, fuera del extremo que representa Yankee Rowe (una pequeña unidad de 167 MWe), el resto de unidades se mueven entre los 400 MWe y los 1.130 MWe. Finalmente, en cuanto al coste estimado del desmantelamiento, apartando el caso especial de Zion (2 unidades), el rango de valores se mueve entre los 430 y los 893\$M, o lo que es lo mismo, entre 0,38 \$M/MWe y 3,64 \$M/MWe, con hasta 5 casos (más del 50%) por debajo de 1\$M/MWe.

En cuanto a los 2 reactores de tipo BWR, es destacable que presentan prácticamente el mismo coste de desmantelamiento (alrededor de 420 M\$), mientras que en un caso el tamaño es de 652 MWe y en el otro, 67 MWe, lo cual resulta en un coste por MWe 10 veces superior en un caso en relación al otro. El motivo es que el coste del desmantelamiento de una unidad pequeña requiere una cantidad similar de personal de gestión que una unidad grande, y al representar estos costes el 50-60% de los costes totales, el coste por MWe no se relaciona linealmente con el tamaño de la unidad (NEA, 2015).

En cambio, fuera del caso del reactor que ha sufrido el accidente, parece observarse una relación lineal entre el coste estimado del desmantelamiento y la vida operativa del reactor. El pequeño número de observaciones, sin embargo, obliga a ser cautos, a priori, ante tal posible correlación.

Tabla 4. Lista de proyectos de desmantelamiento recientes en los EE.UU.

Planta nuclear	Tipo de reactor	Tamaño (MWe)	Vida operativa (años)	Motivo de cierre de la planta	Coste estimado (\$M)	Coste estimado (\$M/MWe)
Connecticut Yankee	PWR	582	28	Económico	820	1,41
Yankee Rowe	PWR	167	30	Económico, técnico, legal	608	3,64
Maine Yankee	PWR	840	25	Económico, técnico	592	0,71
San Onofre 1	PWR	410	24	Económico, técnico	622	1,52
Rancho Seco	PWR	913	14	Referéndum público	466	0,51
Trojan	PWR	1.130	16	Económico, técnico	430	0,38
Zion units 1 and 2	PWR	1.040	24	Económico, técnico	1.000 (2 unidades)	0,96
Three Mile Island unit 2	PWR	906	2	Accidente	893	0,99
Millstone unit 1	BWR	652	25	Técnico, regulatorio	422	0,65
Big Rock Point	BWR	67	35	Económico, técnico	420	6,27

Fuente: NEA, 2015

Europa

Antes de analizar los casos particulares de Alemania y Francia en Europa, y siguiendo el estudio comisionado por el Comité de Control Presupuestario del Parlamento Europeo (2013), merece la pena señalar algunas de las características de las centrales nucleares en Europa, en cuanto a tamaño y tipo del reactor, así como su vida operativa y post-operativa, porque también pueden proporcionar algunos valores de referencia para el estudio del desmantelamiento nuclear.

Prácticamente el 50% de los reactores europeos que han finalizado operaciones tiene un tamaño entre 100 y 500 MWe, distribuyéndose de forma prácticamente equitativa un 25% en la parte alta (más de 500 MWe) y otro 25% por debajo (menos de 100 MWe).

Entre los reactores ya cerrados en Europa, hay de 9 diferentes tipos, si bien la mayoría se concentran en sólo tres: más de 35 son del tipo gas-grafito, mientras que 23 lo son de agua presurizada y 14 de agua en ebullición. El resto de reactores no tiene en ningún caso una presencia mayor a cinco en el conjunto de la distribución.

En cuanto a la vida operativa, un tercio de los reactores ha estado en funcionamiento durante menos de 20 años, mientras que otro tercio lo ha hecho entre 20 y 30, y el último tercio lo ha hecho por más de 30 años.

Finalmente, en cuanto al periodo de tiempo durante el cual los reactores han seguido cerrados a la espera de su desmantelamiento final, se obtiene de nuevo un dato relevante para el análisis, y es que más de la mitad de los reactores europeos cerrados llevan más de 15 años en este estado, el periodo considerado por los/as expertos/as como más que suficiente para llevar a cabo el desmantelamiento total de un reactor estándar europeo (400 MWe y de agua presurizada). De lo que se deduce que no hay una estrategia clara, en Europa que apueste por el desmantelamiento rápido de las centrales nucleares, aun conociendo las adversidades que puede causar el desmantelamiento diferido a nivel de mayores costes de mantenimiento y de mayores dificultades de gestión del personal laboral.

A continuación se expone y describe brevemente, por su relevancia en el conjunto europeo, los casos particulares de Alemania y Francia.

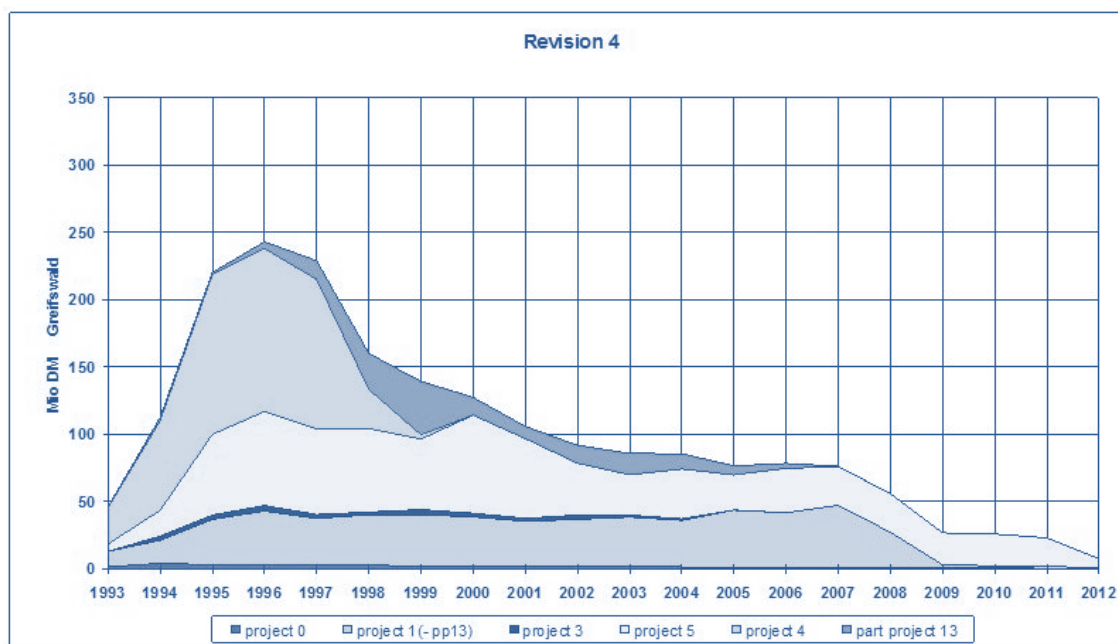
Alemania

A partir de los datos de los fondos de financiación dedicados a los procesos de desmantelamiento, proporcionados por los dos mayores operadores de las plantas nucleares en Alemania (RWE y E.ON), se estima un coste aproximado de desmantelamiento de 800 millones de euros aproximadamente por reactor en este país. Para el cálculo se tuvieron en cuenta los 14 reactores en proceso de desmantelamiento vigentes en Alemania, sin incluir los costes de gestión y depósito del combustible gastado.

En un estudio centrado específicamente en el caso de las 5 unidades nucleares del complejo de Greifswald, llevado a cabo por la operadora estatal EWN (Energie Werke Nörd), puede observarse un dato interesante en relación al proyecto de desmantelamiento de estas centrales en Alemania, y es la disminución progresiva de los costes de desmantelamiento a lo largo del tiempo, después de una fase inicial muy intensiva en costes debido a las inversiones en equipamiento e instalaciones para la gestión y almacenaje de residuos (Gráfico 1). El total en los cerca de 20 años de desmantelamiento, se acerca a los 2.000 millones de los antiguos marcos alemanes, y que se traducen en aproximadamente 1.000 millones de euros para el conjunto de las

5 unidades (200 M €/unidad), lo cual sitúa a este grupo específico de plantas nucleares muy por debajo que la media de 800 M € de las plantas operadas por RWE y E.ON.

Gráfico 1. Costes de desmantelamiento de los cinco reactores Greifswald en Alemania



Fuente: EWN, 2012 en EP, 2013

En otros estudios específicos sobre la experiencia de Alemania, se ha calculado un coste total de desmantelamiento en 700 M€ de media por unidad.

Francia

Tal y como se explica en el apartado metodológico, un total de 9 reactores nucleares están en proceso de desmantelamiento nuclear en Francia bajo la operación de EDF, la mayoría de ellos del tipo gas-grafito (6), como puede observarse en la siguiente tabla (Tabla 5). Tomando la estimación de costes de 2008, la última, es destacable la diferencia de coste entre el único reactor del tipo de agua presurizada, Chooz A (poco más de 220 M€) y los costes de los del tipo gas-grafito, el más elevado de los cuales alcanza los 820 M€ (los 3 reactores de Chinon).

El coste total del desmantelamiento de las 9 plantas nucleares de EDF en Francia suma en total poco más de 3.600 M€, lo que resulta en una media de 400 M€ por instalación.

En los otros dos ejercicios relacionados con la experiencia francesa, y realizados también por EDF, pero en este caso para su flota de 58 reactores PWR en todo el

mundo, se obtiene una media de 317 M€ en el primer caso (EP 2013), y 240 M€ en el segundo (NEA, 2015).

Tabla 5. Estimaciones de costes de desmantelamiento para distintos tipos de reactor.
Millones de euros

REACTOR	TIPO DE REACTOR	AÑO DE FINALIZACIÓN DEL DESMANTELAMIENTO	ESTIMACIÓN 2003	ESTIMACIÓN 2006	ESTIMACIÓN 2008
Chinon A1	GCR	2035	649	586,5	820,4
Chinon A2		2034			
Chinon A3		2031			
St. Laurent A1	GCR	2036	733	614,8	813,3
St. Laurent A2 Silos		2031			
		2025			
Bugey 1	GCR	2026	373	289,9	417,3
Brennilis	Heavy water	2023	260	265,6	377,8
Chooz A	PWR	2019	224	216,5	222,9
Creys-Malville	Super-phénix	2026	952	912,4	955,1

Fuente: EP, 2013

Finalmente, para cerrar este apartado, se ha considerado interesante añadir, a los casos particulares de EE.UU., Alemania y Francia, los resultados a los que llega el estudio realizado en 2003 por parte de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (NEA, 2003). Si bien no es el trabajo más reciente, sí es, desde luego, el estudio que ha analizado una mayor variedad de casos (53) para una mayor variedad de países (26 en total), y tanto las conclusiones como las cifras que sintetizan el estudio, pueden servir como marco de referencia para el ejercicio de estimación del cálculo del coste de desmantelamiento de las centrales nucleares en España⁸.

El estudio se basa en una encuesta realizada en 2001, con la que se pretendía obtener una serie de informaciones clave sobre los costes de desmantelamiento en distintos países, así como los factores fundamentales que hacían variar los resultados. Entre todos los casos estudiados hay representación de prácticamente todos los tipos de reactores nucleares, si bien una mayoría (38%) son del tipo PWR, seguidos por los

⁸ La escasa información sobre los costes de desmantelamiento de las centrales que hay es sobre importes totales y se incluye en los escenarios técnicos de la modelización.

del tipo BWR. La mayoría de reactores (19) tienen una capacidad media de 500 a 1.000 MWe, seguidos por los reactores con capacidad entre 250 y 500 Mwe, de los que se presentan resultados para 15 casos.

En las siguientes tablas (Tablas 6, 7 y 8) se presentan las estimaciones del coste de desmantelamiento para los reactores de tipo PWR y los de BWR, por ser los más comunes, así como la media y la desviación estándar para todos los tipos de reactor.

Tabla 6. Estimación de costes de desmantelamiento para reactores PWR. Millones de USD y USD/kWe

País	Nombre de la Planta	Capacidad (MWe bruto)	Coste total	
			USD (Mill)	USD/kWe
Desmantelamiento inmediato				
Alemania	Alemania_PWR	1.200	315	262
Bélgica	Doel 1-2 (dos unidades)	412x2	280	340
	Tihange 1	1.009	213	212
Eslovenia	Krsko	707	332	479
España	España_ref.PWR (José Cabrera)	1.000	166	166
Estados Unidos	Haddam Neck	587	452	769
	Maine Yankee	900	379	421
	Trojan	1.155	296	256
	Zion	1.085x2	904	417
Italia	Trino	270	245	909
Sudáfrica	Koeberg	944x2	317	168
Suecia	Ringhals 2	917	85	93
Suiza	Beznau (2x 380)	380x2	259	341
	Gosgen	1.020	238	234
Desmantelamiento diferido				
Alemania	Alemania_PWR	1.200	331	276
Brasil	Angra 1	657	198	301
	Angra 2	1.350	240	178
Eslovenia	Krsko*	707	152	216
Francia	Promedio_PWR	1.070x58	13.973	225
Japón	Tsuruga 2	1.160	470	405
Países Bajos	Borssele	481	168	348
* Diferidos por 80 años				

Fuente: NEA, 2003

Tabla 7. Estimación de costes de desmantelamiento para reactores BWR. Millones USD y USD/kWe

País	Nombre de la Planta	Capacidad (Mwe bruto)	Coste total	
			USD (mill)	USD/kWe
Desmantelamiento inmediato				
Alemania	Alemania_BWR	800	362	453
España	España_ref.BWR	500	147	294
Italia	Caorso	882	480	544
	Garigliano	160	263	1.644
Suecia	Oskarshamn 3	1.200	124	104
Suiza	Leibstadt	1.200	344	282
	Muhleberg	372	178	479
Desmantelamiento diferido				
Alemania	Alemania_BWR	800	375	469
Finlandia	Olkiluoto	870x2	132	76
Japón	Tokai 2	1.100	436	396
Países Bajos	Dodewaard	58	133	2.300

Fuente: NEA, 2003

Tal y como puede observarse, el coste de desmantelamiento de los reactores PWR varía entre aproximadamente los 200 USD/kWe y los 500 USD/kWe, para una media de 320 y una desviación estándar de 195. En cambio, para los reactores de tipo BWR, la variación se da entre 300 USD/kWe y 550 USD/kWe, con una media de 420 y desviación 100. Es interesante también observar que, si bien para la mayoría de tipos de reactores nucleares (incluyendo PWR y BWR, los más usados) la media se sitúa alrededor de 300 y 400 USD/kWe, hay una excepción muy destacada, y es la de los reactores GCR (Gas Cooled Reactor" en sus siglas en inglés), en los que el grafito actúa como moderador en la reacción nuclear, para los cuales el coste supera de media los 2.500 USD/kWe.

Tabla 8. Media y desviación estándar de los costes de desmantelamiento por tipo de reactor nuclear. USD/kWe

Tipo de Reactor	Coste del desmantelamiento (USD/kWe)	
	Promedio	Desviación Estándar
PWR	320	195
VVER	330	1.150
BWR	420	100
PHWR/Candu	360	70
GCR	>2.500	-

Fuente: NEA, 2003

De lo anterior, y de otros cálculos realizados en este estudio de la Agencia Nuclear, se deduce que, excepto para los reactores GCR, el coste de desmantelamiento es independiente del tipo de reactor, y se relaciona de forma estadísticamente no significativa con la capacidad o tamaño del reactor. Las técnicas y trabajos de los procesos de desmantelamiento nuclear son, pues, según los datos de este estudio, muy generalizables, y aplican a cualquier tipo de reactor nuclear (Tabla 9 y 10). En cambio, es debido al tipo de costes laborales, a la historia operativa de la planta y a los condicionantes en la gestión y depósito de residuos, que se producen diferencias en las estimaciones de coste, y todos estos conceptos son independientes del tipo y el tamaño del reactor nuclear estudiado.

Tabla 9. Contribución media de los principales procesos al coste total del desmantelamiento. Detalle por tipo de reactor nuclear. Porcentaje sobre el total

Tipo de Reactor	Desmantelamiento (%)	Tratamiento y eliminación de residuos (%)
BWR	33	23
PWR	30	23
VVER	25	17
PHWR	34	43
GCR	25	43

Fuente: NEA, 2003

Tabla 10. Contribución media de los principales partidas al coste total de desmantelamiento. Porcentaje sobre el total

Desmantelamiento	25-35%
Gestión y depósito de residuos	17-43%
Seguridad y mantenimiento	8-13%
Limpieza del emplazamiento y diseño del nuevo paisaje	5-13%
Gestión de proyecto, ingeniería y apoyo	5-24%

Fuente: NEA, 2003

Finalmente, según el estudio, los dos mayores elementos de coste del desmantelamiento, tal y como muestran las dos tablas anteriores, son el proceso físico de deconstrucción de las instalaciones nucleares (entre un 25 y 35% del total de costes), y la gestión y almacenamiento de residuos (alrededor del 23% para los dos principales tipos de reactores). En orden de importancia, les siguen los costes de seguridad y mantenimiento, los de limpieza del viejo emplazamiento y diseño del nuevo, y los de gestión e ingeniería de proyecto, todos ellos alrededor del 10% cada uno.

CAPÍTULO II. EL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR Y SU ANÁLISIS ECONÓMICO: ESTADO DE LA CUESTIÓN II

1. EL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR

Los estudios de caso existentes que analizan el proceso de desmantelamiento de centrales en varios países, parecen indicar un escenario, a medio plazo, más bien optimista. Así, tras la pérdida inicial de puestos de trabajo en la central nuclear, el propio proceso de desmantelamiento y la diversificación económica que suelen experimentar las localidades en las que se asentaban las instalaciones, puede conllevar la generación de nuevas oportunidades laborales para la población.

Además es importante señalar que la mayoría de los mencionados estudios no tienen en cuenta una serie de elementos de especial importancia para determinar el impacto socioeconómico del desmantelamiento, los cuales se señalan a continuación:

- 1.- El ámbito geográfico de los análisis es, mayoritariamente, local. No todos los estudios analizan la destrucción/generación de empleo que el desmantelamiento de las centrales nucleares puede conllevar en un nivel territorial más amplio (nacional).
- 2.- No se tiene en cuenta el empleo que se creará debido a la generación, mediante el uso de otras fuentes, de la energía que antes producían las centrales nucleares.
- 3.- Se parte de la hipótesis de que los puestos de trabajo existentes en las centrales nucleares se mantendrían indefinidamente si no se produjera su cierre, planteamiento que no es veraz, ya que el desmantelamiento de cualquier planta nuclear es un hecho cierto e inevitable.
- 4.- No se tiene en cuenta el impacto económico positivo que el cierre y desmantelamiento de las centrales nucleares puede tener sobre el entorno local y regional, debido a una mayor diversificación derivada de la potencial atracción de nuevos negocios que, anteriormente, no se instalaban en la zona por la existencia de la central. No obstante, hay que reconocer que, en muchos casos, los puestos de trabajo se pierden en zonas rurales con pocas oportunidades de desarrollar actividades alternativas.

Así, a continuación, el presente apartado revisa los análisis de las experiencias previas nacionales e internacionales, con el fin de detectar posibles medidas que aminoren el impacto negativo sobre el empleo actual de las centrales.

Esta revisión del impacto socioeconómico del desmantelamiento nuclear se completa con una selección de estudios de caso internacionales que también contemplan otros efectos directos, indirectos e inducidos de carácter social en las comunidades locales,

más allá de los provocados por la pérdida de empleo y, sobre los cuales, se realiza una exposición.

1.1. Empleo y otros costes socioeconómicos en las comunidades locales

Según La Guardia (2012, Laraia Ed.)⁹, el análisis económico del desmantelamiento nuclear puede y debe ir más allá del ejercicio de la estimación de los costes económicos de las actividades directamente vinculadas a este proceso, si bien, como se señalaba anteriormente, la mayor parte de la literatura existente versa sobre este último punto, puesto que es determinante y necesario para fijar la financiación del proceso y el asunto más controvertido, políticamente, del desmantelamiento nuclear.

Sin embargo, los costes del impacto social que puede llegar a tener un proyecto de desmantelamiento nuclear en la comunidad local, tanto directamente como indirectamente, amplían la perspectiva ofrecida por el simple análisis económico¹⁰.

En este sentido, **los costes directos** hacen referencia, entre otros, a las medidas para atraer y retener al personal especializado en tareas de desmantelamiento, jubilaciones anticipadas, paquetes de incentivos a los/as trabajadores/as, y otros pagos de carácter social, que deberían incluirse en la estimación de los costes del desmantelamiento. Al respecto, es importante que el personal directivo del proyecto sepa anticipar este tipo de impacto social en las proyecciones de costes.

Puesto que la experiencia y conocimientos de los/as trabajadores/as de una central nuclear no son siempre adaptables a las necesidades laborales de los proyectos de desmantelamiento, se puede necesitar realizar un esfuerzo en captar nuevos/as trabajadores/as para las nuevas tareas. Este tipo de costes deberán incluirse también en las estimaciones. Cabe remarcar aquí que estos costes deben tenerse en cuenta en el momento de escoger la estrategia de desmantelamiento: en particular, debe compararse el coste de los/as trabajadores/as eventualmente despedidos/as pero con una experiencia particular acumulada en la central nuclear, con el coste de contratar nuevos/as trabajadores/as cualificados/as para las nuevas tareas pero sin experiencia previa en las instalaciones a desmantelar.

En cuanto a los **costes sociales indirectos** del desmantelamiento nuclear, estos son mucho más difíciles de cuantificar, puesto que la responsabilidad de la empresa

⁹ Este apartado se apoya principalmente en el capítulo 4 de T.S. La Guardia (2012, Laraia ed.) y en el documento de la IAEA sobre la gestión del impacto socioeconómico del desmantelamiento nuclear (IAEA, 2008).

¹⁰ Para una lista exhaustiva de todos los potenciales impactos sociales directos e indirectos de un proyecto de desmantelamiento nuclear, es interesante revisar el documento del grupo de expertos de la IAEA sobre aspectos financieros del desmantelamiento nuclear, en su apéndice B (NEA, 2015; 53-63).

operadora depende específicamente de cada caso de forma que, en algunas ocasiones, se derivan costes a nivel regional o nacional, mientras que en otras el operador sí asume toda la responsabilidad del desmantelamiento y, por tanto, todos los costes indirectos.

Estos costes son por ejemplo, los referidos al valor económico de la *pérdida de puestos de trabajo*, a las *reducciones en las bases impositivas* de las haciendas locales (a las que las empresas operadoras contribuyen de forma decisiva), y a la *eliminación de servicios prestados a las industrias* relacionadas con la normal operación de una planta nuclear, así como de *servicios sociales y comerciales proporcionados* a las familias residentes en las comunidades locales.

Una consecuencia probable en las familias locales que pierden el trabajo con el desmantelamiento nuclear es el cambio de residencia, lo cual puede implicar también malvender las propiedades, con el consiguiente coste económico.

Según La Guardia, si bien todos los anteriores costes indirectos pueden efectivamente y eventualmente materializarse, la dificultad, por un lado, de asignar responsabilidades al respecto, y por otro, de una precisa identificación y evaluación de tales costes, dificulta a su vez su provisión financiera en las estimaciones. De todas formas, las necesidades sociales derivadas del impacto indirecto del desmantelamiento nuclear deben tenerse en cuenta si se quiere evitar un posible conflicto social y político que acabe desestimando o demorando la aceptación del proyecto de desmantelamiento, generando a su vez nuevos costes.

De forma complementaria al análisis de La Guardia (2012), merece la pena destacar también, de forma esquemática, por su claridad, la exposición que la IAEA hace en el documento de referencia sobre la gestión del impacto socioeconómico del desmantelamiento nuclear, en relación tanto a los efectos socioeconómicos potenciales del cierre y desmantelamiento de las plantas nucleares, por una parte, y en relación a los factores que afectan la escala del impacto socioeconómico por otra (IAEA, 2008).

En el citado estudio, se incide en la importancia que la planificación, comunicación, consultas y gestión de la información del desmantelamiento tiene sobre el desarrollo del proceso y consecuencias negativas que una mala gestión de la planificación y la información transmitida a las plantillas puede tener, incluyendo, entre otras, un impacto negativo en la seguridad de la central, un menor rendimiento de la planta o la pérdida de un número importante de trabajadores/as con los conocimientos y habilidades necesarias para desarrollar el proceso de desmantelamiento.

En cuanto a los efectos potenciales, el documento identifica los principales impactos del proceso sobre tres tipos de agentes: los/as trabajadores/as de las centrales; la comunidad local y la comunidad a mayor alcance, es decir, a nivel regional). A continuación se resumen algunos de los efectos identificados¹¹:

1. Impacto en las plantillas:

- **Aspectos psicológicos:** algunos de ellos negativos, tales como, choque emocional si el anuncio es repentino; frustración; distracción de sus actividades diarias (con el consiguiente impacto sobre el rendimiento laboral y la seguridad de la central; pérdida de la identidad vinculada a lo laboral, etc.) pero también se señalan otros potenciales efectos psicológicos positivos como puede ser entusiasmo ante nuevas oportunidades laborales o el incremento de la independencia.
- **Aspectos relacionados con la renta personal y familiar:** relacionados, fundamentalmente, con la pérdida de ingresos de la unidad familiar y la incertidumbre sobre el futuro laboral y/o sobre la adecuación de las condiciones de salida de la central (reubicación, jubilación anticipada, otros beneficios, etc.). No obstante, como en el punto anterior, también se pueden producir efectos positivos en algunos casos como, por ejemplo, la oportunidad de satisfacer inquietudes o deseos personales gracias al incremento de percepciones económicas vinculadas a compensaciones derivadas del cierre.
- **Aspectos relacionados con el rendimiento de la gestión.** El informe destaca algunos de los siguientes efectos: desconfianza sobre las decisiones de la Dirección si el proceso de comunicación de las decisiones no se realiza de manera correcta; riesgo de abandono de parte de la plantilla esencial para acometer el desmantelamiento; reducción de la preocupación por las medidas de seguridad; riesgo de aumento del absentismo. Aunque, al igual que en los anteriores puntos, también se pueden derivar consecuencias positivas, en este caso, sobre todo, si la gestión de la información y la comunicación se realizan de manera correcta.

2. Impactos en la comunidad local

¹¹ Aunque todos ellos son relevantes y han de ser tenidos en cuenta a la hora de planificar el desmantelamiento de las centrales, a continuación solamente se desarrollan los resultados identificados por el informe de IAEA relacionados con el impacto sobre las plantillas al ser el objetivo principal del presente apartado.

Tal y como se señala en el informe de la IAEA (2008) el impacto en la comunidad local va a variar, en gran medida, dependiendo de su ubicación geográfica y del contexto económico. Así, el desmantelamiento de centrales más cercanas a áreas urbanas tendrá menor impacto sobre la comunidad local (ya que su contribución a la actividad económica de la zona es menor) que el que se realice en áreas más alejadas de grandes ciudades. En el estudio, los impactos sobre la comunidad local se agrupan en las siguientes cuatro categorías:

- a. Actividad económica
- b. Cambios demográficos
- c. Servicios
- d. Aspectos relacionados con las políticas y financiación locales.

3. Impactos en la comunidad de mayor alcance (regional/nacional):

- a. Economía nacional
- b. Financiación del desmantelamiento
- c. Infraestructuras
- d. Relaciones públicas

Por otra parte, el documento de la IAEA también identifica una serie de factores que afectan a la escala del impacto socioeconómico, destacando los siguientes:

1. Tamaño de la fuerza laboral;
2. Localidad del emplazamiento (ingresos relativos generados por la central nuclear en relación a los ingresos totales de la localidad);
3. Estrategia de desmantelamiento;
4. Tipo de emplazamiento:
 - a. Emplazamiento con un reactor de experimentación u otras pequeñas instalaciones nucleares;
 - b. Planta de energía nuclear;
 - c. Emplazamiento con múltiples instalaciones (unidades de investigación o experimentación y unidades comerciales).

Pero, quizá, una de las aportaciones más interesantes de este estudio es la identificación de una serie de **estrategias dirigidas a minimizar las consecuencias negativas del desmantelamiento de las centrales nucleares sobre las plantillas y el entorno**. La siguiente tabla recoge los principales impactos socioeconómicos por tipo de agente y las actuaciones o intervenciones más adecuadas a llevar cabo,

dirigidas a reducir los impactos socioeconómicos negativos e incrementar o potenciar los positivos (Tabla 11).

Tabla 11. Impactos socioeconómicos del desmantelamiento e intervenciones adecuadas por tipo de agente

Agente	Naturaleza del impacto	Intervención
Plantilla	Psicológica	Consultas, planificación, comunicación y apoyo de recursos humanos
	Rentas personales y familiares	Apoyo financiero, incluyendo planificación de recursos humanos
	Actuación de la Dirección	Gestión efectiva vía consultas, planificación y comunicación
Comunidad local	Actividad económica	Consultas, planificación, comunicación e inversiones económicas que apoyen las intervenciones
	Cambios demográficos	
Comunidad (mayor alcance)	Economía nacional	Planificación e Inversiones
	Financiación del desmantelamiento	
	Infraestructuras	
	Relaciones públicas	Comunicación

Fuente. IAEA, 2008

En este sentido, tal y como recoge el estudio, es importante recordar que el proceso de desmantelamiento comienza con la decisión de cerrar una central en un momento determinado y es de suma importancia que **esta decisión y sus implicaciones sean comunicadas, lo antes posible, a todos los agentes afectados o interesados**. Por tanto, es necesario que se lleven a cabo Planes para gestionar los efectos resultantes del desmantelamiento y que, en su elaboración, las distintas partes implicadas o afectadas sean consultadas y tenidas en cuenta. Además, es necesario que se identifiquen claramente quiénes son los responsables de la planificación y de las inversiones que sea necesario llevar a cabo.

Así, si bien la designación de responsables puede variar atendiendo a las realidades de los distintos países, los temas que tengan un impacto directo sobre los y las trabajadores/as de las centrales deberán ser gestionados por la Dirección de las plantas, mientras que en la gestión del impacto sobre la comunidad local ha de ser tenida en cuenta la opinión y visión de los/as representantes y otros actores relevantes de dicha comunidad.

En líneas generales, el estudio señala que el proceso de desmantelamiento de una central debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Planificación del impacto socioeconómico;
- Comunicación y consultas con los principales agentes afectados (trabajadores/as, comunidad, representantes, etc.);
- Inversiones necesarias;

Sin embargo, a pesar de que la planificación temprana del desmantelamiento es identificada como uno de los elementos clave por varios estudios realizados por la IAEA y otros organismos especializados, esta no siempre tiene en cuenta la importancia de los aspectos socioeconómicos y sus implicaciones. Y esta falta de planificación puede incrementar el impacto sobre los/as trabajadores/as y sobre el entorno local y aumentar los riesgos de retrasos debidos a los elementos anteriormente señalados: desmotivación de las plantillas; la pérdida de personal altamente cualificado y con el conocimiento necesario para llevar a cabo los trabajos de desmantelamiento; y, en líneas generales, elevar los costes del proceso.

Así, el informe de IAEA 2008 recalca la importancia de realizar un diagnóstico en el que se analice la situación, los obstáculos y los elementos facilitadores y se identifiquen los actores a implicar en la planificación. Por poner un ejemplo, el anuncio de la elaboración del Plan y sus medidas puede generar un efecto desestabilizador en las plantillas que pueden asumir que el cierre es inminente pero no se les está informando, por lo que la implicación de los sindicatos en la elaboración y comunicación del Plan puede contribuir a disipar dichos recelos.

Además, si el proceso de desmantelamiento se va a realizar inmediatamente, la planificación debe realizarse con carácter previo y esta ha de incluir consultas públicas y una atención especial a determinadas cuestiones, tales como la realización de **programas formativos** dirigidos a proporcionar a la plantilla de la central las habilidades y conocimientos requeridos para el proceso de desmantelamiento. El estudio señala que una parte importante de los trabajos relacionados con el desmantelamiento (especialmente las tareas preparatorias y de desmontaje) pueden ser llevadas a cabo por las propias plantillas si se les proporciona la formación necesaria, reduciendo, así, el número inicial de despidos.

Pero también es necesario tener en cuenta que, a medida que el proceso de desmantelamiento avance, las tareas habituales desempeñadas por los/as trabajadores/as de la central irán siendo menos necesarias, por lo que es necesario que este hecho sea tenido en cuenta en la planificación. Así, el departamento de recursos humanos de la central, de forma coordinada con los/as gestores/as del desmantelamiento, debe llevar a cabo una serie de **medidas dirigidas a proporcionar apoyo a los/as trabajadores/as y al proyecto**, entre las que cabe destacar:

- 1.- La preparación de una estrategia para gestionar los recursos humanos.
- 2.- El diseño y ejecución de un plan de recursos humanos dirigido a identificar las habilidades y conocimientos requeridos en cada fase del proyecto.
- 3.- El diseño y ejecución de un plan específico para retener a aquellas personas de la plantilla necesarias para asegurar la seguridad y el buen desarrollo del proceso de desmantelamiento.
- 4.- La identificación de las nuevas habilidades y conocimientos requeridos en las etapas clave del proceso.
- 5.- La realización de servicios de orientación profesional y servicios de recolocación para aquellos/as trabajadores/as que pierdan sus puestos de trabajo.
- 6.- La provisión de indemnizaciones como compensación para los/as trabajadores/as que pierdan sus puestos.

Para finalizar, es importante señalar que, según el informe IAEA, una buena planificación del proceso no solamente ayudará a minimizar el impacto inmediato sobre las plantillas sino que una buena y pronta comunicación también tendrá efectos positivos, ya que puede atraer a nuevos negocios debido a la oferta de trabajadores/as muy cualificado/as que va a estar disponible en la zona.

1.2. Estudios de impacto socioeconómico

El estudio del impacto social del desmantelamiento nuclear en las comunidades locales hasta ahora ha sido más bien limitado a unos pocos trabajos (Tabla 12). La IAEA (2008) presenta también distintos casos prácticos de análisis de impacto socioeconómico, si bien están centrados más en evaluar la gestión del impacto que en su cálculo y su metodología (Tabla 13)

Se presentan a continuación tres casos individuales que, por sus características, parecen más relevantes como referencia para el presente Informe, dos a nivel internacional (Dounreay en el Reino Unido y Maine Yankee en Estados Unidos) y uno nacional (Vandellós I)¹²

¹² Aunque no se ha encontrado ningún estudio que analice el impacto socioeconómico del cierre de la Central de José Cabrera, se ha decidido incluir un breve resumen de la información relacionada disponible, fundamentalmente en prensa

Tabla 12. Trabajos de impacto socioeconómico del desmantelamiento nuclear con información cuantitativa

País	Año	Autor	Título
EE.UU.	2014	Haller	The Socioeconomic Effects of Decommissioning on Local Communities: a Media Framing Analysis of the Experience of Wiscasset, Maine
EE.UU.	2013	Haller	Economic Analysis of the Columbia Generating Station
Reino Unido	2013	House of Commons	Nuclear Decommissioning Authority: Managing Risk at Sellafield
Reino Unido	2012	Grangeston	The Socio-Economic Impacts of Dounreay Decommissioning
EE.UU.	2010	VVAA	The Local Economic Impacts of Decommissioning the Diablo Canyon Power Plant
Varios	2008	IAEA	Managing the Socioeconomic Impact of the Decommissioning of Nuclear Facilities
España	2003	Barceló Vernet	Social Economic Aspects of the Decommissioning of Nuclear Installations
EE.UU.	1997	Kotval & Mullin	The Closing of the Yankee Rowe Nuclear Power Plant: The Impact on a New England Community

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Estudios de caso de impacto socioeconómico analizados por IAEA, 2008

País	Instalación nuclear
Francia	Creys-Malville
Alemania	Greifswald
Lituania	Ignalina
Rusia	VARIOS
España	Vandellós I
Suecia	Barsebäck
Reino Unido	Dounreay

Fuente: IAEA, 2008

Dounreay

Otro ejemplo interesante, en este caso, debido a la voluntad de la empresa operadora de convertirse en referente europeo en proyectos de desmantelamiento nuclear, y por la cantidad y calidad de los datos disponibles y analizados, es el de las instalaciones de Dounreay, en Escocia, en las cuales operaron bajo licencia de investigación y desarrollo experimental (no comercial) varios reactores nucleares durante prácticamente 40 años, hasta 1994. Al cabo de una década aproximadamente, en 2005, se iniciaba el proceso de desmantelamiento, comisionado por la *Nuclear Decommissioning Authority* (organismo regulador británico) a la *Dounreay Site Restoration Ltd.*, el operador.

Precisamente por la naturaleza de las instalaciones y el tipo de reactor, no asimilables directamente con la mayoría de proyectos de desmantelamiento de carácter comercial, no interesará tanto de este ejemplo los resultados y tendencias de los análisis de impacto como la metodología y los datos utilizados en el estudio revisado (Grangeston, 2012).

El informe utiliza tres tipos de fuentes: estadísticas socioeconómicas de la región económica donde se sitúan las instalaciones nucleares, datos proporcionados por la empresa operadora y datos derivados de una encuesta realizada a los/as empleados/as de la empresa. Con estas fuentes, el estudio proporciona una valoración del impacto de los primeros años del desmantelamiento en la economía local, así como unos resultados interesantes sobre el perfil profesional de los/as empleados/as, y los compara con las estimaciones realizadas en el plan inicial de desmantelamiento en 2006.

En cuanto al análisis de impacto, se estima:

- **Impacto directo**, derivado del empleo proporcionado por la empresa operadora.
- **Impacto indirecto**, generado por las compras de bienes y servicios de la empresa operadora para desarrollar sus actividades, incluyendo la actividad y el personal subcontratado.
- **Impacto inducido**, generado por el gasto realizado a través de los salarios de los/as empleados/as, directos e indirectos.

En el año 2010, un total de 867 personas se encontraban trabajando a tiempo completo en la empresa operadora del desmantelamiento de Dounreay, lo que significaba una reducción de prácticamente el 27% en relación al volumen de

empleados/as en 2005, si bien una parte se explica por el mayor uso de la subcontratación.

Durante el año 2010-11, la empresa operadora realizó compras de bienes y servicios por valor de 90 millones de libras, cantidad de la cual un 13% se aprovisionó en las empresas del municipio y un 57% regionalmente (en los condados de Caithness & North Sutherland), sumando un 70% de compras como estímulo a la economía local. Para la estimación del empleo indirecto derivado de este estímulo, la metodología utilizada por el estudio es la siguiente:

- Identificación de los primeros 100 proveedores por tipo de servicio.
- Asignación de estas compras a distintos sectores industriales, para estimar la proporción en cada sector, así como la identificación de la facturación relevante.
- Una vez obtenida la facturación, se estima una primera ronda de empleos indirectos utilizando ratios de empleo sobre facturación, para luego estimar de nuevo el empleo mediante el uso de los multiplicadores de las tablas Input-Output de Escocia.

Igualmente, para la estimación del impacto inducido, se utilizan también los multiplicadores de las tablas Input-Output. Así, en total, se obtiene que 979 personas son empleadas indirectamente o de forma inducida en las instalaciones de Dounreay, lo que sumadas a las 867 empleadas directamente, alcanza la cifra de 1.846 empleos, lo que representa un 8,2% del total de empleados/as en la región de Caithness & North Sutherland, en relación al 10,9% de 2005, cuando se contaba con 2.470 empleados/as. Es decir, una menor importancia del empleo en Dounreay respecto al empleo de la economía local.

Más allá del análisis de impacto social a través de los movimientos en el empleo, la encuesta realizada a los/as empleados/as proporciona datos que merece la pena destacar, por su relación con la encuesta realizada cinco años antes:

- Incremento de un 21% en el número de trabajadores y trabajadoras que prefieren quedarse a vivir y trabajar en la región.
- Duplicación del número de trabajadores/as actuales de la región que consideraría emprender su propio negocio.
- Disminución del 21% del total de personas (trabajadores/as y sus compañeros/as sentimentales) que preferirían abandonar su puesto de trabajo y desplazarse a otra ciudad.

Finalmente, una última encuesta a empresas que forma parte del estudio, muestra una menor dependencia de las empresas en el mercado local de Dounreay, y por el contrario una mayor dependencia hacia otros mercados exteriores hacia los que se han ido diversificando, los cuales tienden a asociarse con la energía, pero en este caso renovable.

En conclusión, pues, el estudio muestra un **escenario optimista, a pesar de la pérdida inicial de empleo y actividad económica, gracias a la diversificación de las actividades económicas y al espíritu emprendedor** que permite suplir la progresiva disminución de puestos de trabajo a medida que el proyecto de desmantelamiento nuclear vaya avanzando hacia su final, previsto en 2030. De hecho, **en el momento de realización del estudio la tasa de desempleo en la zona era ya inferior a la del conjunto de Escocia.**

Maine Yankee

A continuación, se analizan también, brevemente, los impactos socioeconómicos recogidos por uno de los estudios más recientes sobre desmantelamiento nuclear, basado en el caso de la central nuclear de Maine Yankee en Wiscasset, pequeña localidad en Estados Unidos que, durante su vida operativa, llegó a emplear 600 trabajadores/as, contribuyendo en un 90% al presupuesto de la hacienda local, hasta 1997, año de cese de sus operaciones de generación de energía.

El estudio, de carácter más cualitativo que cuantitativo, analiza cuatro variables de impacto en un escenario post-nuclear en la localidad:

- Precio de la electricidad;
- Financiación local disponible;
- Empleo;
- Escolarización.

En este estudio de caso, en contraste con los otros que se han presentado en este capítulo, los resultados parecen más bien negativos para la población. En primer lugar, el precio local de la electricidad subió notablemente; en segundo lugar, la base impositiva local se redujo drásticamente, pasando de prácticamente 13 millones de dólares en 1996 a 1,6 millones en 2001; importante también, la pérdida de puestos de trabajo, que pasaron de los 600 a 166, con una intención clara por parte de la mayoría de desempleados/as (60% de 500, puesto que 100 se jubilaron) de desplazarse fuera de la localidad para encontrar una nueva ocupación; y, finalmente, una clara bajada en las tasas de escolarización, con la consiguiente pérdida de capital humano a largo plazo para la población.

Vandellós I

El estudio del impacto del desmantelamiento de la central nuclear Vandellós I en Tarragona, en España, fue uno de los primeros análisis socioeconómicos realizados en este ámbito (Barceló Vernet, 2003). Llevado a cabo por el Consejo de Seguridad Nuclear, si bien no se trata de un informe exhaustivo, sí proporciona algunos elementos metodológicos interesantes a tener en cuenta, como la separación en fases temporales del proyecto.

Así, según el autor del estudio, una evaluación completa del impacto socioeconómico del desmantelamiento nuclear debe analizar cada una de las fases por las que se transita durante el proceso:

- Cierre de la planta y fin de las operaciones de generación de energía;
- Periodo de desmantelamiento;
- Cierre definitivo.

En cuanto a la primera fase, desde el cierre comercial de la planta hasta el inicio del desmantelamiento, que en el caso de Vandellós I se prolongó durante 10 años, el impacto social principal es la pérdida directa de empleo, que se cuantificó en 300 puestos de trabajo, en una localidad de 4.000 habitantes.

Esta caída en el empleo en la primera fase del desmantelamiento produce, a su vez, una serie de impactos indirectos que Barceló Vernet resume en los siguientes:

- Caída demográfica, por el efecto migratorio que produce el hecho de perder el empleo, especialmente entre los/as más jóvenes y mejor formados/as.
- Reducción de la actividad económica del área de influencia de la localidad que, en mayor o menor medida, dependía del funcionamiento de la planta nuclear (servicios de mantenimiento, limpieza y otras subcontrataciones) y también de la que dependía indirectamente (comercios y servicios).
- En consecuencia, pérdida indirecta de empleo, no sólo en relación con las actividades directamente vinculadas a las instalaciones nucleares (proveedores o subcontratados), sino también en relación con las actividades comerciales y de servicios de la localidad.
- Y, en consecuencia también, reducción de los ingresos de las administraciones locales (tasas e impuestos), provocando a su vez una caída en la actividad de estas administraciones.

En cuanto a la segunda fase, según Barceló Vernet, entran en juego algunos efectos cualitativos, como los que se derivan de la implicación de la localidad en la definición del Plan de Desmantelamiento, y es un momento en el que es clave la información

que se pueda proporcionar a la sociedad y las políticas de formación que se puedan desarrollar pensando en la futura actividad económica que generará el desmantelamiento.

En efecto, el **impacto socioeconómico durante esta fase es claramente positivo**, y se convierte en motor de reactivación de la economía local, debido a la contratación de servicios y trabajadores/as para llevar a cabo el Plan de Desmantelamiento. En el caso de Vandellós I, **se contrataron 1.800 trabajadores/as** durante un período de 4 años, con un pico de 400 trabajadores/as simultáneos, de los cuales el **65% tenía un origen local**. De forma inversa a la fase anterior, la recuperación de la actividad económica revierte también en una recuperación de los ingresos de las haciendas locales.

En la última fase, una vez cesan las actividades de desmantelamiento, la importancia radica según el autor en la capacidad de los agentes económicos locales para generar nuevos tipos de actividad, para lo cual habrán sido clave las políticas de formación para trabajadores/as y de facilitación de creación de empresas o apoyo a emprendedores/as. El impacto en esta última fase, pues, es mucho más incierto que en las dos fases anteriores.

Por otro lado, en el año 2005, ENRESA (Llop y Sardá, 2005) realizó también un estudio sobre el impacto económico del desmantelamiento de la central cuyo marco metodológico es similar al que se emplea en el presente estudio. Por esta razón y por ser Vandellós I la primera central en desmantelarse en España, a continuación se resumen sus principales conclusiones (Cuadro 1)

Cuadro 1. Resumen de caso de la Central Nuclear de Vandellòs (ENRESA, 2005)

La Central Nuclear Vandellòs I es la primera central que se desmantela en España y una de las pocas que se han desmantelado en el mundo. El proceso se llevó a cabo durante cinco años, entre los años 1998 y 2003.

El estudio que realizó Enresa (Llop y Sardá, 2005) calcula tanto el impacto económico como el impacto en el empleo utilizando la metodología input-output. Esta metodología permite cuantificar la contribución del desmantelamiento a la actividad económica, a la generación de renta y a la creación de empleo en el área de influencia de la central nuclear. Se calculan los efectos directos, indirectos e inducidos por zonas, por sectores, totales y de ocupación. Con ello se determina el efecto multiplicador que han tenido las inversiones llevadas a cabo en el proceso de desmantelamiento.

En este estudio se determinan diferentes zonas de influencia en función de su proximidad a la central nuclear, estableciéndose cuatro zonas de influencia (1. Municipal, 2. Comarcal, 3. Provincial y 4. Nacional).

Las inversiones necesarias para el desmantelamiento se han repartido entre las diferentes zonas de influencia, recibiendo la zona 1 aproximadamente el 36% de la inversión, la zona 2 el 4%, la zona 3 el 6% y la zona 4 el 54% de la inversión (Tabla 14).

Tabla 14. Inversión llevada a cabo en el proceso de desmantelamiento de Vadellós I. Euros

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Total
38.381.866	4.103.130	6.849.818	58.457.945	107.792.759

Fuente: Llop y Sardá (2005)

La mayor parte de estas inversiones se han realizado durante los años centrales del proceso de desmantelamiento. A nivel sectorial, la inversión recae mayoritariamente sobre las ramas de Otros servicios privados y Construcción.

También se modeliza el impacto en la economía que supone el aumento en el consumo de los/as trabajadores/as que participan en el proceso de desmantelamiento. Esta partida se dirige, mayoritariamente, a las ramas de Otros servicios privados, Comercio y restauración y Alimentos, bebidas y tabaco.

Los efectos económicos del desmantelamiento se presentan por zonas geográficas, calculando los efectos sobre el conjunto de la provincia de Tarragona, los efectos sobre la comarca de ubicación de la central nuclear y, por último, los efectos sobre los cinco municipios contiguos a la central.

En la provincia de Tarragona el mayor impacto se produce en la rama Otros servicios privados, con un 26,7% del efecto total, seguido por el impacto en la rama Construcción con un 12,9% del impacto total. Los efectos sobre el empleo suponen la generación de 5.921 nuevos puestos de trabajo, de los cuales el 96% son debidos a las inversiones y el resto al aumento en el consumo.

En cuanto al impacto sobre la comarca del Baix Camp cabe destacar que el efecto sobre la renta y la actividad productiva multiplica por 4,08 la demanda inicial asociada al desmantelamiento, lo que supone que cada unidad monetaria destinada al desmantelamiento de la central generó aproximadamente 4 unidades monetarias de renta en la comarca. En cuanto al empleo, el sector de actividad más beneficiado en términos de ocupación es la construcción con 880 nuevos trabajadores/as, el 28,3% de la nueva ocupación.

Por último, el efecto sobre los cinco municipios colindantes supuso un aumento de la renta productiva en los municipios de 197.819.158 euros. La rama de

Servicios recibe la mayor parte del impacto global (86.256.278 euros), seguida por la rama de Industria (65.732.866 euros). Los efectos sobre la ocupación municipal se cuantifican en la creación de 2.297 nuevos puestos de trabajo, siendo la rama Servicios la que presenta un mayor efecto ocupación (1.192 nuevos puestos de trabajo). Le sigue la rama Construcción con un total de 604 nuevos puestos de trabajo. Conjuntamente, estas dos actividades generan en torno al 78% del efecto total sobre la ocupación municipal.

Fuente. Elaboración propia a partir de Llop y Sardá, 2005

2. LA FINANCIACIÓN DEL DESMANTELAMIENTO NUCLEAR

En el marco de esta revisión general de la literatura y de las experiencias de proyectos de desmantelamiento a nivel de Europa y EE.UU., se analiza finalmente otro de los aspectos clave de este tipo de proyectos, como son sus sistemas de financiación.

Así, en primer lugar la revisión se centra en dos documentos clave, para describir los aspectos generales a tener en cuenta en cuanto a la financiación del desmantelamiento nuclear, que son los siguientes:

- “*Financial Aspects of Decommissioning*”, de la Agencia Internacional de la Energía Atómica, 2005
- “*Decommissioning Funding: Ethics, Implementation, Uncertainties*”, de la Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE, 2006

Posteriormente, la identificación de experiencias de distintos países, se ha centrado en un documento que ofrece una revisión exhaustiva y un análisis comparativo de los sistemas de financiación del desmantelamiento nuclear en la mayoría de países que disponen de instalaciones nucleares, y que es el siguiente:

- “*Comparison among different decommissioning funds methodologies for nuclear installations. Final Report*”, del Wuppertal Institute, 2007¹³

E igualmente, se sigue teniendo como referencia a T.S. La Guardia (2012) y las notas sobre financiación de documentos que ya se han citado en apartados anteriores (EP, 2013; NEA, 2003).

2.1. Cuestiones generales

Dado el largo plazo en el que se enmarcan los proyectos de desmantelamiento nuclear, el primer y más importante principio que rige la política de financiación de este tipo de procesos, destacado por todas las fuentes relevantes analizadas, es el de justicia intergeneracional o “*Polluter Pays Principle*”, según el cual las generaciones que utilizan la energía nuclear tienen la obligación de preservar los recursos científicos, técnicos y financieros necesarios para que las futuras generaciones puedan llevar a cabo la fase decisiva de desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

¹³ Además del documento general, el *Wuppertal Institute* realizó un estudio exhaustivo para cada uno de los países miembros, España entre ellos.

Se entiende, pues, que los costes necesarios para llevar a cabo el desmantelamiento deben ser financiados por aquellos que desarrollaron y se beneficiaron de la actividad de generación de energía nuclear. De alguna forma, se da por supuesto que las generaciones actuales deben preocuparse no sólo por su seguridad, sino por la de las siguientes, en el marco de un proceso de desarrollo energético sostenible.

Para asegurar la puesta en práctica de este principio, deben provisionarse los fondos necesarios durante la vida operativa de la planta nuclear para poder llevar a cabo el proceso de desmantelamiento, y de ahí que la cuestión de la financiación sea tan importante. De hecho, el sistema de financiación debe evitar que las siguientes generaciones carguen con los costes del proceso, un escenario que tiene cierta probabilidad de suceder por varias causas:

- Subestimación de los costes reales por parte del operador o propietario;
- Negligencias;
- Transferencia de la propiedad de las instalaciones sin transferencia de las correspondientes provisiones;
- Reducción de la vida operativa de la planta (reduciendo así el tiempo disponible para recaudar fondos);
- Problemas financieros del operador o propietario.

El establecimiento de un sistema de financiación de proyectos de desmantelamiento requiere, para una efectiva ejecución, del desarrollo de un marco legal adecuado y, sobre todo, de una correcta estimación de los costes, tanto de forma previa al desmantelamiento, como de forma periódica durante las sucesivas revisiones de costes que se efectúen mientras dure el proceso. Es esencial evitar, debido a una falta de recursos financieros, cualquier posibilidad de que el proceso no pueda empezar a realizarse como estuviera planificado, que no se pueda llevar a cabo con los mecanismos de seguridad previstos, o que deba abandonarse antes de su finalización.

De acuerdo con la práctica internacional, se han definido los siguientes mecanismos de recaudación de fondos para el desmantelamiento:

- Ingreso del operador por la venta de la electricidad, con la posterior tasa pagada por parte del operador al fondo;
- Sobreprecio en la tarifa eléctrica;
- Donaciones de otros países u organizaciones internacionales;
- Subsidios por parte de gobiernos nacionales y/o regionales;
- Intereses y/o beneficios de las operaciones financieras realizadas por el fondo;
- Beneficios del equipamiento vendido antes o durante el desmantelamiento;

- Sanciones impuestas por parte de la autoridad reguladora al operador.

En relación al proceso de recaudación, deben tenerse en cuenta también los siguientes aspectos:

- **Alcance de la recaudación.** Debe definirse con concreción qué actividades están incluidas en el fondo de desmantelamiento y son, por tanto, responsabilidad del operador (financiarlas). En algunos casos, la gestión del combustible gastado durante la vida operativa puede ser susceptible de incluirse o no en la fase de desmantelamiento.
- **Número de fondos.** Debe decidirse si se establece un único fondo para financiar el desmantelamiento, o si se establecen varios fondos en función de la actividad.
- **Plazos temporales de la recaudación.** En este sentido, puede definirse una recaudación constante a lo largo de la vida de la planta nuclear; una recaudación en un período más breve que el de la vida de la planta nuclear; un prepago como vía más segura de recaudación antes del arranque de las operaciones de desmantelamiento; o una recaudación única después de iniciarse el proceso.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el de la metodología utilizada para el cálculo de las provisiones necesarias, en particular la utilización o no de un **tipo de descuento** de los flujos de caja futuros. Se establecen, por tanto, dos métodos de cálculo:

- **Valor corriente.** Con este método, el cálculo de la carga financiera evalúa lo que costarían los costes de desmantelamiento si se realizaran en la actualidad. En este caso, el valor de la carga financiera es exactamente igual a la estimación del coste del desmantelamiento, puesto que no depende del plazo temporal en que se desarrollen las actividades.
- **Valor actual neto.** En este caso se evalúa la carga financiera que supone el desmantelamiento teniendo en cuenta el calendario de realización de los distintos gastos que implica el proceso, lo cual implica descontar los flujos futuros de gasto en función del momento en que se produzcan, de forma que los gastos que realizan más tarde en el tiempo, tienen menos valor en la actualidad. Esta operación requiere asumir una tasa de descuento para descontar los flujos, lo cual introduce otro mecanismo de variabilidad en el cálculo.

La principal diferencia entre los dos métodos es, pues, que el valor actual neto acumula los fondos más lentamente, y se muestra sensible tanto al calendario del desmantelamiento como al tipo de interés escogido.

Por otra parte, en cuanto a la gestión del fondo para la financiación del sistema de desmantelamiento, ésta se puede llevar a cabo de las siguientes formas:

- **Gestión interna.** En este caso, el operador tiene licencia para acumular y gestionar sus propios fondos de desmantelamiento, que quedan por lo tanto bajo responsabilidad de sus cuentas propias, en forma de reservas. En algunos países se separan las reservas para la gestión de los residuos y para la gestión del combustible utilizado.
- **Gestión externa.** En este caso, los fondos se recaudan al operador o al sistema eléctrico mediante alguno de los mecanismos de recaudación descritos anteriormente y se gestionan de forma externa e independiente.

Al fin y al cabo, tanto en un mecanismo de gestión como en otro, el objetivo es el mismo: que el fondo cubra los costes estimados de desmantelamiento, y que esté disponible en el momento en que se realicen estos costes. A partir de ahí, todas las buenas prácticas relacionadas con la gestión financiera en general, principalmente el equilibrio entre riesgo asumido y retorno de la inversión, deben aplicarse a la gestión del fondo de desmantelamiento.

De todas formas, y recapitulando, la gestión del fondo no está a salvo de una serie de incertidumbres como las siguientes:

- Riesgos asociados a la gestión de un fondo de capital durante un período de muy largo plazo;
- Riesgos asociados a un mal cálculo de los costes o a cambios en las variables que determinan estos costes;
- Posibilidad de cierre anticipado de las instalaciones, con lo que no se ha tenido el tiempo previsto para acumular los fondos necesarios para el desmantelamiento.

Finalmente, antes de pasar a comentar cuáles son las prácticas más extendidas, en relación a los sistemas de financiación del desmantelamiento nuclear a nivel internacional, es pertinente, dada la importancia que se le otorgan en el presente estudio, hacer una mención al trato que debe recibir la financiación de los costes sociales.

A priori, está generalmente aceptado que los costes sociales directos no tienen por qué ser financiados mediante estos fondos. Ahora bien, al fin y al cabo se trata de una

cuestión que debe estudiarse caso por caso, y en la que debe prevalecer el principio de responsabilidad, en el sentido que el agente que la asuma (ya sea el operador o el gobierno regional o nacional) deberá ser quien contribuya al fondo. Es esta, pues, una cuestión política en la que la intervención de los distintos grupos de interés en el desmantelamiento puede decantar la balanza en uno u otro sentido.

En el caso de los costes sociales indirectos asociados al desmantelamiento nuclear, es todavía más complicado establecer quién debe asumir la responsabilidad y, por tanto, la carga financiera. Una cuestión interesante a tener en cuenta en este sentido es si la central fue construida en el marco de una comunidad ya existente (caso en el cual, a priori, sería la comunidad quien asumiera la responsabilidad, como en otros negocios) o si la comunidad se generó a partir de la instalación de la central, en cual caso tendría más sentido que el operador fuera el responsable. Ya sea en uno u otro caso, es probable que la decisión se deba discutir una vez hayan cerrado las instalaciones, por lo que se hace difícil de todas formas provisionar un fondo durante la vida operativa de la planta para este tipo de costes.

2.2. Prácticas de financiación a nivel internacional

En líneas generales, el estudio comparativo del Wuppertal Institute de Alemania sobre los sistemas de financiamiento del desmantelamiento nuclear implementados en los principales países miembros de la Unión Europea (2007), llega a las siguientes conclusiones:

- El “*Polluter Pays Principle*”, como principio de justicia intergeneracional, está ampliamente aceptado en la comunidad internacional, aunque solamente, en la fecha del estudio (2007)¹⁴, en Suecia y Finlandia es un requerimiento legal.
- Los sistemas de financiación requieren mayoritariamente al operador provisionar una cantidad para el futuro proceso de desmantelamiento, en función de los años de operación de la planta y/o la energía eléctrica producida. Casos excepcionales son los de Suecia y Finlandia, por una parte, donde los costes se tienen que provisionar o garantizar desde el inicio de las operaciones de la planta nuclear, o el caso de Francia, en el que el sistema requiere al operador provisionar la totalidad de los fondos necesarios para el desmantelamiento, después de un período de transición de 5 años.

¹⁴ Actualmente el principio ya está asumido en la legislación europea y nacional (Directiva 2011/70/Euratom del Consejo, en la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, con el fin de evitar imponer cargas indebidas a las generaciones futuras).

- Hay una diferencia metodológica fundamental entre los Estados de la Unión Europea (los 16 miembros que había en 2007, año de realización del estudio del Wüppertal Institute), y es la de si el cálculo de costes para la financiación se hace aplicando tasa de descuento o no, lo cual implica importantes diferencias en la provisión de fondos (Tabla 15). En el caso de algunas centrales nucleares en Alemania, República Checa, Eslovaquia, Italia, Finlandia y Lituania, no se aplican tasas de descuento. En el resto donde sí se aplican, la tasa de descuento puede variar entre el 1,5%, asignado precisamente en España, y el 5.5% aplicado en Alemania.
- La gestión interna de los fondos de desmantelamiento nuclear es mayoritaria para el caso de los reactores nucleares de investigación; en cambio, es una práctica minoritaria en cuanto a los reactores comerciales, que se da en algunos países como Francia, Bélgica, Alemania, Holanda e Italia (Tabla 16).
- Por otra parte, está extendida de forma mayoritaria la gestión externa de los fondos para el desmantelamiento, si bien es cierto que hay importantes diferencias entre países en cuanto al grado de independencia de los operadores respecto al gobierno, así como en cuanto al rol del Parlamento, la comunidad científica y las municipalidades o comunidades locales afectadas por el desmantelamiento (Tabla 16).

Tabla 15. Metodologías de cálculo de las provisiones financieras en los países miembros de la UE (2007)

Tipo de instalación	No hay provisiones hechas	Provisiones basadas en costes reducidos				Provisiones basadas en costes no descontados
	País	País	Tasa de descuento nominal aplicada	Tasa de Inflación	Tasa de descuento real	Países
Mina de Uranio/mill ¹	La mayoría de los países	España, Francia	IPC ⁹ 5%	IPC ⁹ 2%	0.0% 2.94%	
Reactores de investigación	Alemania Italia Países Bajos Rumanía Hungria Reino Unido	Suecia Francia Bélgica	- 5.0% ?	- 2.0% ?	varios ⁸ 2.94% ?	República Checa Finlandia
Central nuclear	Rumanía Reino Unido ¹³	Alemania ² Francia Suecia España Países Bajos Eslovenia Lituania ¹² Hungria Bélgica Reino Unido ¹⁴ Reino Unido ¹⁵	5.5% 5.0% - - 4.0% 4.29% ?	Indirectamente ³ 2.0% - - Indirectamente ³ 0.73% ?	5.5% 2.94% varios ⁸ 1.5% 4.0% 3.53% 3.0% 3.0% ¹⁰ ? 2.2% 3.0%	Alemania ⁴ República Checa Eslovaquia Italia Finlandia Lituania ¹²
Conversión de uranio, plantas de enriquecimiento y fabricación del combustible	Rumanía, Reino Unido	Países Bajos, Alemania, Francia	IAS %37 ⁵ 5.0%	Indirectamente ³ 2.0%	IAS %37 ⁵ 2.94%	
Plantas de reprocesamiento	Bélgica ¹¹	Reino Unido ¹⁴ , Francia	5%	2,00%	2.2% 2.94%	
Almacenamiento, residuos	Reino Unido	República Checa ⁶ Hungria Bélgica Países Bajos	? ?	? ?	? 3%, ? 3%	República Checa ⁷

Esta selección no pretende ser exhaustiva. La información sobre Bulgaria no pudo ser adquirida en el curso de este estudio.

1 La mayoría de las minas de uranio en Europa están cerradas, fuera de servicio o en el proceso de desmantelamiento.

2 Balances fiscales alemanas (muy similares pero no necesariamente idénticas a los balances de acuerdo con IFRS / US GAAP: cf. IAS 37, IFRIC 1)

3 Las actualizaciones de las estimaciones de costes han tenido en cuenta los aumentos de precios.

4 Balances de acuerdo con el código de comercio alemán

5 De acuerdo con IFRS (IAS 37), las desviaciones tienen que ser descontadas de acuerdo a las tasas de interés de mercado y a que los riesgos de responsabilidad son tenidos en cuenta

6 Repositorio Dukovany, CZ

7 ISFSF Dukovany, CZ

8 Dependiendo del período respectivo (2005-2020; a partir de 2020) se aplican diferentes tasas de descuento reales (3,25%: 2,5%)

9 Índice de precios del consumidor (ENUSA es una compañía del sector público)

10 Recalculado anualmente sobre la base de los intereses obtenidos y la tasa de inflación.

11 Las actividades de cierre se financian a través de una contribución del gobierno federal anual hasta el año 2008.

12 Tasa de descuento se utiliza sólo cuando se calculan los costes para la elección de la estrategia de cierre. 3,0% para el cierre solamente.

13 Plantas Magnox y NDA (Nuclear Decommissioning Authority)

14 Descuento de los costes de las plantas NDA; sin embargo, en realidad no existen provisiones hechas.

15 Plantas de Energía Británicas: sin embargo, de hecho, las provisiones dependen de la capacidad de pagar.

Fuente: Wüppertal Institute, 2007

Tabla 16. Tipología de gestión de los fondos de desmantelamiento en los países miembros de la UE (2007)

Tipo de instalación	Pago del presupuesto actual	Interno		Externo	
		No restringido	Restringido	No restringido	Restringido
Mina de Uranio/mill1	P.ej: Alemania, República Checa		P.ej: Francia		
Reactores de investigación	P.ej: Alemania, España, Reino Unido, Italia, Bélgica	P.ej: República Checa	P.ej: Francia, República Checa		
Central nuclear	Reino Unido (NDA -(Nuclear Decommissioning Authority)	Alemania, Bélgica, Países Bajos, Italia (SOGIN-ENEL), República Checa	Francia, República Checa	Italia (CCSE)	Finlandia, Lituania, Suecia, Reino Unido (NLF: Energía Británica) Eslovaquia, España, Bulgaria, Hungría, Eslovenia.
Conversión de uranio, plantas de enriquecimiento y fabricación del combustible	Reino Unido	Alemania, Países Bajos	Francia		
Plantas de reprocesamiento	Alemania, Reino Unido		Finlandia		
Almacenamiento, residuos	P.ej: Alemania, Reino Unido		P.ej: España, Francia, Países Bajos (COVRA)		P.ej: Finlandia, Suecia, República Checa

Fuente: Wüppertal Institute, 2007

Al margen de las experiencias europeas, el **caso de EE.UU.** proporciona también algunos datos interesantes sobre el funcionamiento en la práctica de los sistemas de financiación del desmantelamiento nuclear. Ya en los años 80 del siglo pasado (con actualizaciones posteriores), la Comisión Reguladora Nuclear (US NRC), el organismo regulador del sistema energético nuclear en EE.UU., para evitar casos de bancarrota de los operadores antes del inicio de las actividades de desmantelamiento, promulgó una serie de leyes que tenían como objetivo asegurar que habría un financiamiento adecuado para los proyectos de desmantelamiento nuclear futuros.

El principal cambio que se ha ido promoviendo a través de la normativa es el de la necesaria gestión externa de los fondos para el desmantelamiento, de forma que las operadoras no los pudieran utilizar para otros propósitos. También se especificó el tipo de fondos externos a utilizar. Así, en un principio, se obligaba a realizar inversiones seguras, esto es, con un retorno bajo, pero con compensaciones fiscales (tasas más bajas). Más tarde, sin embargo la US NRC permitió inversiones más arriesgadas, que permitieran lograr mayores retornos, pero, eso sí, sin compensación fiscal alguna. En la práctica, esta segunda opción se mostró mejor para todos los actores, puesto que el mayor retorno de la inversión implicó un menor coste para el consumidor, y aseguraba de todas formas que la financiación estaría disponible cuando el proyecto de desmantelamiento lo requiriese.

Por otro lado, el organismo regulador norteamericano estableció también la necesaria separación entre los fondos necesarios para llevar a cabo el desmantelamiento y los fondos acumulados para gestionar y almacenar el combustible utilizado en las operaciones, de forma que cada uno se utilice para su finalidad, y no para la otra.

2.3. La financiación del desmantelamiento nuclear en España

La gestión de los Residuos Radiactivos (RR), incluido el combustible nuclear gastado, y el desmantelamiento y clausura de las centrales y otras instalaciones nucleares se considera un servicio público en España, reservado al Estado. ENRESA es la empresa pública creada para acometer dichas funciones de acuerdo con El Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR), documento que recoge las actividades a realizar (tanto en relación con los residuos radiactivos como con el desmantelamiento de instalaciones) y cómo abordar la financiación de las mismas. El sexto y último PGRR, se publicó en el año 2006 y es el que está actualmente vigente.

Según las últimas estimaciones, referidas a julio del año 2015, el coste de gestionar los residuos radiactivos (RR) en España, atendiendo a la planificación recogida en el

6º PGRR, ascenderá a un total de 20.200 M€¹⁵. Esta estimación está realizada para un parque nuclear de 6 centrales nucleares con 8 reactores y suponiendo una vida útil para ellos de en torno a los 40 años¹⁶. La mayor parte del coste corresponde a la actividad de las centrales nucleares, ya que las partidas mayores son la gestión del combustible gastado (CG) y de Residuos de Alta Actividad (RAA) y al desmantelamiento y clausura de las instalaciones (Tabla 17). A fecha de 31 de diciembre de 2014 se había ejecutado un 24,7% del presupuesto en las actividades realizadas hasta la fecha. Por tanto, se prevé que el coste de las actuaciones pendientes de realizar ascenderá a unos 15.210,70 M€.

Tabla 17. Estimación de costes de la gestión de los residuos radiactivos según el Sexto PGRR

Línea de actuación	Coste estimado (M€)
Gestión RBBA/REMA	2.989,10
Gestión CGRAA	9.642,50
Clausura	4.405,56
Otras actuaciones	68,74
I+D	464,17
Estructura	2.630,07
TOTAL	20.200,14

Fuente: ENRESA y Tribunal de Cuentas (2015)

(1) La estimación de los costes de estructura se han tomado de Informe del Tribunal de Cuentas

Estas estimaciones contemplan todas las actuaciones relacionadas con la gestión de los RR a realizar hasta el año 2085, incluido el almacenamiento del CG, el desmantelamiento de todas las centrales, la construcción de un Almacén Temporal Centralizado (ATC) y la posterior construcción de un Almacén Geológico Profundo (AGP), previsto para el año 2035 y que estaría operativo en el año 2063.

¹⁵ En la actualización publicada por ENRESA para la Ley 19/2013 en julio de 2015, se señala un total de 17.570 millones de euros, pero a este importe habría que sumarle los 2.630 millones que venían imputándose en concepto de estructura (ver cuadro nº1 del Informe del Tribunal de Cuentas nº 1075) y que se omiten en la estimación primera.

¹⁶ Por tanto, no contempla que la central de S.M. de Garoña vuelva a tener actividad.

Si la vida útil de las centrales se prolongase hasta los 48 años, en vez de los 40 contemplados en el Sexto PGRR, el coste total de gestionar los residuos se elevaría en unos 769 millones de euros, según estimaciones de ENRESA realizadas en 2012¹⁷.

Con objeto de poder hacer frente al coste de las actividades señaladas en el párrafo previo, desde el año 1983 se viene dotando una provisión específica, que actualmente se denomina **Fondo para la financiación de las actividades de PGRR**, y que a fecha de diciembre de 2014, contaba con un saldo de 4.254 M€. Este Fondo se ha ido nutriendo de las cantidades recaudadas en tarifas, peajes o precios y de los propios rendimientos financieros generados por el mismo. Tras varias modificaciones, que han ido afectado a la parte que los consumidores y las empresas propietarias de las centrales aportaban al Fondo, desde el año 2010 este se financia a partir de cuatro tasas diferentes: dos de ellas recaen sobre las empresas titulares de las centrales nucleares, una tercera sobre los de las instalaciones de fabricación de combustible y la cuarta, sobre otras instalaciones radioactivas.

Atendiendo al Tribunal de Cuentas (Informe nº 1075) *“Las modificaciones que se han introducido en la regulación de la financiación de las actividades del PGRR por la Ley 11/2009, son compatibles con la Directiva 2011/70/Euratom y con la regulación comunitaria sobre ayudas estatales pues, en principio, garantizan que los costes relacionados con la gestión de los residuos radiactivos recaigan en los titulares de las licencias de explotación de las centrales nucleares y del resto de instalaciones radiactivas¹⁸”*. Asimismo, *“la regulación vigente faculta, igualmente, al Estado a trasladar a los titulares de las centrales nucleares cualquier coste futuro que hubiera de afrontar ENRESA tras el cierre de explotación tanto de las centrales nucleares como de fábricas de elementos combustibles que no se hubiera previsto durante dicha explotación”*

Sin embargo, el citado Informe alerta también sobre **la naturaleza del Fondo** ya que *“no constituye una provisión contable en sentido estricto que recoja, de acuerdo con los años de vida útil de las centrales nucleares, las contingencias devengadas en la fecha de cierre de cada ejercicio, sino que refleja el remanente entre los fondos recibidos y los aplicados por ENRESA a esa misma fecha, no estaría garantizado, como requiere la normativa comunitaria, que no se trasladen a generaciones futuras parte de los costes derivados de la clausura y desmantelamiento de las instalaciones nucleoelectricas, principio que inspira también la legislación nacional de protección del medioambiente”*

¹⁷ Tribunal de Cuentas (2015)

¹⁸ La aplicación de la Ley 54/1997 trasladó la financiación de estos costes a los consumidores, hecho que se mantuvo hasta el año 2005, en el que volvieron a ser internalizados por las empresas titulares de las centrales nucleares.

De hecho, en ese mismo Informe el Tribunal de Cuentas señala con respecto a las estimaciones de ENRESA del año 2014, un déficit en el Fondo de más de 1.500 M€¹⁹, motivado principalmente por el hecho de que, desde el año 2010, no se hayan actualizado las tasas que se aplican a las centrales nucleares recogiendo las desviaciones que se han observado en los costes estimados.

El Tribunal de Cuentas recoge en su Informe distintas recomendaciones con objeto de asegurar una dotación adecuada del Fondo. De ellas, a continuación se señalan tres de las que se consideran más importantes:

1. *“En la regulación del Fondo para la financiación de las actividades del PGRR deberían incluirse disposiciones que obliguen a revisar anualmente los elementos tributarios de las dos tasas que recaen sobre las empresas titulares de las centrales nucleares (centrales nucleares) en función de las necesidades de financiación futura resultantes de las actualizaciones económico-financieras de las previsiones contenidas en los PGRR...; con ello se garantizaría que las dotaciones anuales al Fondo se distribuyeran a lo largo del periodo que resta de vida útil de las centrales nucleares con arreglo a principios y normas de contabilidad generalmente aceptados”*

2. *“Para adecuar los recursos acumulados en el del Fondo a las proyecciones de costes futuros que deberá afrontar ENRESA tras el cierre de las centrales nucleares en explotación, podría plantearse, como una medida alternativa al incremento de la cuantía de las tasas que recaen sobre las empresas titulares de las centrales nucleares, la internalización por estas empresas de los costes por Asignaciones a Ayuntamientos e impuestos medioambientales que, a pesar de estar asociados a la actividad de generación de energía nucleoelectrónica y de no constituir obligaciones a largo plazo, se han venido cargando anualmente desde su implantación al Fondo para la financiación de las actividades del PGRR”.*

3. *“ENRESA debería cargar al fondo imputable a las centrales nucleares en explotación la totalidad de los costes soportados por Asignaciones a Ayuntamientos afectados por centrales nucleares e instalaciones de almacenamiento de combustible gastado (CG) o residuos radiactivos (RR), que se han venido repartiendo entre los cuatro fondos en los que figuraba distribuido el Fondo para la financiación de las actividades del PGRR, pese a que la D.A. sexta de la Ley 54/1997 no les otorgó la consideración de costes de diversificación y seguridad de abastecimiento”.*

¹⁹ Es importante señalar que la estimación de Julio de 2015 supera en 491 M€ a la recogida en el Informe, por lo que el déficit actual sería también superior ya que no se ha producido desde entonces ninguna actualización de las tasas señaladas.

Un reciente informe europeo²⁰, que compara la disponibilidad de fondos específicos para el desmantelamiento de las centrales nucleares y la gestión de los RR en distintos Estados miembros (Tabla 18), pone de manifiesto que en España la financiación disponible ni siquiera alcanza el 30% de la financiación total que se va a requerir²¹, a pesar de que el parque nuclear ha superado ya el 57% de su vida útil²². Este porcentaje es el más bajo de los países europeos occidentales para los que se dispone de información y sólo los antiguos países del Este presentan porcentajes inferiores. Por tanto, también desde el análisis comparado se observa la necesidad de mejorar la correspondencia entre la dotación al Fondo y el período de vida útil de las centrales nucleares mediante un incremento acelerado de los ingresos del mismo, que palíe las deficiencias señaladas en el Informe del Tribunal de Cuentas y otros posibles desajustes en su diseño original que no se han corregido con posterioridad.

²⁰ European Commission (2016): Nuclear Illustrative Programme presented under Article 40 of the Euratom Treaty for the opinion of the European Economic and Social Committee (COM(2016) 177 final)

²¹ Este porcentaje, en realidad, es inferior ya que el coste total estimado no recoge la última actualización de julio de 2015, que lo eleva, sin considerar los costes de estructura, a 17,5 mil millones de euros.

²² En este cálculo el Informe Europeo considera 60 años de vida útil (Long Term Operation).

Tabla 18. Comparativa entre la financiación disponible para el desmantelamiento y la gestión de los residuos radiactivos y la vida útil del parque de centrales nucleares en Europa. Año 2014

Estado miembro	Financiación (Miles de millones de euros)			Generación de electricidad en Plantas Nucleares (TWh)			
	Financiación disponible (Activos dedicados)	Necesidades totales estimadas	%	Electricidad generada (Sept. 2015)	Electricidad futura a generar considerando las OLPO (3) (estimada)	Generación de electricidad total a lo largo de la vida útil	%
Italia	No disponible		ND	143	0	143	100%
Países Bajos	No disponible		ND	148	54	202	73%
Reino Unido	46,3	61	76% (2)	2 629	817	3 445	76%
Alemania	38 (1)	45,7	83%	4 836	398	5 234	92%
Bélgica	7,6	10,7	71%	1 399	349	1 748	80%
Suecia	6,2	11	56%	2 200	1 186	3 386	65%
Finlandia	2,4	6,6	36%	697	344	1 041	67%
Francia	23	68,4	34%	11 873	9 203	21 076	56%
España	4,3	14,5	29%	1 740	1 297	3 037	57%
Eslovenia	0,2	0,7	24%	78	60	138	57%
Croacia	0,2	0,7	23%	78	60	138	57%
Chequia	1,2	6,5	19%	515	819	1 334	39%
Eslovaquia	1,5	8,1	18%	412	295	707	58%
Bulgaria	0,5	3,5	14%	518	288	807	64%
Hungría	0,8	5,5	14%	389	234	624	62%
Lituania	0,5	5,8	8%	311	0	311	100%
Rumanía	0,2	4,2	4%	133	315	448	30%
Total	132,9	252,9	52%	28 098	15 718	43 816	64%

Fuente: European Commission (2016)

(1) La regulación en Alemania no requiere la constitución de un fondo específico dedicado sino que se refiere a las leyes comerciales e impositivas para asegurar que el operador tiene suficientes reservas contabilizadas (Sección 249 del Código de Comercio) Las provisiones contables son respaldadas por activos físicos, que pueden experimentar variaciones en su valor a largo plazo. El Gobierno alemán ha comisionado recientemente una revisión independiente que ha concluido que los operadores nucleares tenían suficientes fondos para cubrir los costes de desmantelamiento y las actividades de gestión de residuos. Basándose en este hecho y en que las conversaciones sobre la posible externalización de los fondos de gestión han concluido, se ha asumido para el cálculo que los fondos disponibles son equivalentes a las provisiones contables registradas por los operadores nucleares en diciembre de 2014

(2) Se ha considerado que las obligaciones relacionadas con las actividades de desmantelamiento nuclear están totalmente respaldadas por fondos existentes, ya que estos se cargarán al Presupuesto Nacional del Reino Unido (Provisión Magnox de 20,8 miles de millones de euros y una provisión para las instalaciones de desechos geológicos de 13,1 miles de millones de euros). La cantidad total de los fondos incluye la cantidad restante del Fondo de Responsabilidad Nuclear (12,4 miles de millones de euros) cuya finalidad es cubrir las actividades internas vinculadas a la flota gestionada por EDF Energy.

(3) Operaciones a Largo Plazo Oficiales

**CAPÍTULO III. IMPACTO ECONÓMICO DEL
DESMANTELAMIENTO DE LAS CENTRALES NUCLEARES EN
ESPAÑA**

1. Introducción

En los capítulos previos se ha revisado el estado de la cuestión sobre distintos elementos relacionados con la dimensión económica del desmantelamiento de las centrales nucleares a nivel internacional y para el caso español. En este capítulo, se presenta el impacto que, sobre el conjunto de la economía y especialmente sobre el tejido productivo, tendrá el cierre y desmantelamiento paulatino del parque de centrales nucleares en España.

Como punto de partida, se trabaja con un escenario técnico factible, que permite ir acometiendo un trasvase gradual de la producción de energía eléctrica nuclear a otras fuentes de energía. En él, se incorporan las hipótesis técnicas y las estimaciones económicas requeridas para abordar el desmantelamiento completo de las centrales nucleares y la gestión de los residuos vinculados a las mismas, tanto de los ya existentes como de los que se generarán hasta el fin de su vida útil y en el proceso de desmantelamiento previsto.

A partir del escenario técnico señalado, se calcula el impacto macroeconómico del proceso de desmantelamiento nuclear. Como se verá a lo largo del capítulo, dicho impacto está vinculado tanto al trasvase de la producción de energía eléctrica de unas a otras fuentes como a las inversiones necesarias para acometer el desmantelamiento nuclear completo, que incluye la adecuada gestión de los residuos radiactivos.

La importancia de la estimación del impacto macroeconómico del desmantelamiento nuclear reside en la obtención de información clave para la toma de decisiones. Pero más allá de este objetivo principal, en la medida que visibiliza y concreta importantes partidas de costes vinculadas a la energía nuclear, los análisis de impacto mejoran también la transparencia del sistema eléctrico nacional y enriquecen el debate público sobre el modelo energético futuro.

El capítulo se ha organizado en tres apartados adicionales a este introductorio. El apartado siguiente presenta el denominado escenario técnico, que recoge las distintas actuaciones requeridas para poder abordar y completar el proceso de desmantelamiento. El tercer apartado presenta el impacto económico de los escenarios parciales en los que se ha subdividido dicho proceso (trasvase de la producción de energía eléctrica hacia otras fuentes; inversiones necesarias, tanto en nueva potencia instalada en energías renovables como en el propio proceso de desmantelamiento de las centrales y en la construcción de almacenes temporales para los residuos). El cuarto apartado presenta los resultados del impacto económico referidos al escenario global. Asimismo, en este último apartado, se profundiza en

otros aspectos de gran interés como el impacto sectorial, el impacto sobre el empleo y el impacto fiscal.

2. Escenarios técnicos del desmantelamiento nuclear

Atendiendo a las características del parque nuclear español, en un periodo inferior a 10 años, deberá haber cesado la producción en los ocho reactores operativos actualmente, por haber llegado estos al final de su vida útil prevista y expirar sus licencias de explotación (Tabla 19). Por tanto, en este período deberá trasvasarse, de forma gradual, la producción de energía a otras fuentes alternativas e iniciarse los procesos de desmantelamiento correspondientes.

Tabla 19. Características del parque de centrales nucleares en España. Año 2016

Nombre	Tipo reactor	Potencia (neta) MWe	Puesta en marcha (fecha)	Vida útil prevista (nº de años)	Vida útil actual (nº años)	Año de cese de explotación (real o previsto)
Vandellós 1	GCR	480	06/05/1972	-	-	1990
José Cabrera 1	PWR	160	07/14/1968	-	-	2006
Santa María de Garoña	BWR	446	02/03/1971	42	42	2013
Almaraz 1	PWR	1049	01/05/1981	39	36	2019
Vandellós 2	PWR	1087	12/12/1987	32	28	2020
Ascó 1	PWR	1033	13/08/1983	37	33	2020
Almaraz 2	PWR	1044	08/10/1983	36	32	2020
Cofrentes	BWR	1092	14/10/1984	36	31	2021
Ascó 2	PWR	1027	23/10/1985	35	30	2021
Trillo-1	PWR	1066	23/05/1988	36	28	2024

Fuente: IAEA, CSN y Greenpeace

En el marco de este proyecto, se denomina **escenario técnico**, al conjunto de hipótesis y parámetros que se adoptan para poder abordar el desmantelamiento completo de las centrales nucleares, contemplando las distintas decisiones y actividades que se realizarían a nivel operativo.

El escenario técnico global se ha elaborado a partir de cuatro escenarios parciales que se corresponden con distintas fases y/o ámbitos de actuación vinculados al proceso de desmantelamiento:

- **Escenario 1.** Trasvase de la producción de energía eléctrica nuclear a otras fuentes de energía.

- **Escenario 2.** Incremento adicional de la potencia instalada en energías renovables para poder sustituir la producción eléctrica nuclear.
- **Escenario 3.** Desmantelamiento de las centrales nucleares y restauración de sus emplazamientos
- **Escenario 4.** Almacenamiento temporal de los residuos de alta actividad procedentes tanto de la operación de las centrales, durante toda su vida útil, como del propio proceso de desmantelamiento.

A continuación se detalla el contenido de los distintos escenarios parciales.

2.1. La sustitución de energía nuclear por otras fuentes

Dado que el período previsto de caducidad de las licencias de explotación de todas las centrales se sitúa entre los años 2019 y 2024, y en 2028 la última central cumplirán los 40 años de vida útil, será necesario ir sustituyendo de forma paulatina la energía nuclear por otras fuentes de energía. A partir del Escenario de prospectiva al año 2020²³ del Ministerio de Industria, única planificación existente para la próxima década²⁴ (Tabla 20 y Tabla 21) se llevan a cabo las siguientes consideraciones:

1.- El cierre al término de su vida útil de las distintas centrales implicará la necesidad de trasvasar la producción de 59.670 GWh anuales ²⁵ (el 18,01% del mix eléctrico previsto para 2020) a otras fuentes alternativas.

2.- Atendiendo al Escenario de prospectiva utilizado como base, y dado que este sólo contempla un aumento de la participación de los ciclos combinados en la producción eléctrica y de las inversiones en energías renovables, se propone trasvasar la producción nuclear a ambas fuentes: el 40,6% de la producción sería asumido por energías convencionales (ciclos combinados) y el 59,4% iría a fuentes renovables (Gráfico 2). El reparto, dentro de estas últimas, se ajusta también al crecimiento previsto para las distintas tecnologías en el Escenario del MINETUR: así la energía eólica compensaría el 44,3% de la asignación a fuentes renovables, la energía fotovoltaica el 12,6% y la térmica renovable el 2,5% restante.

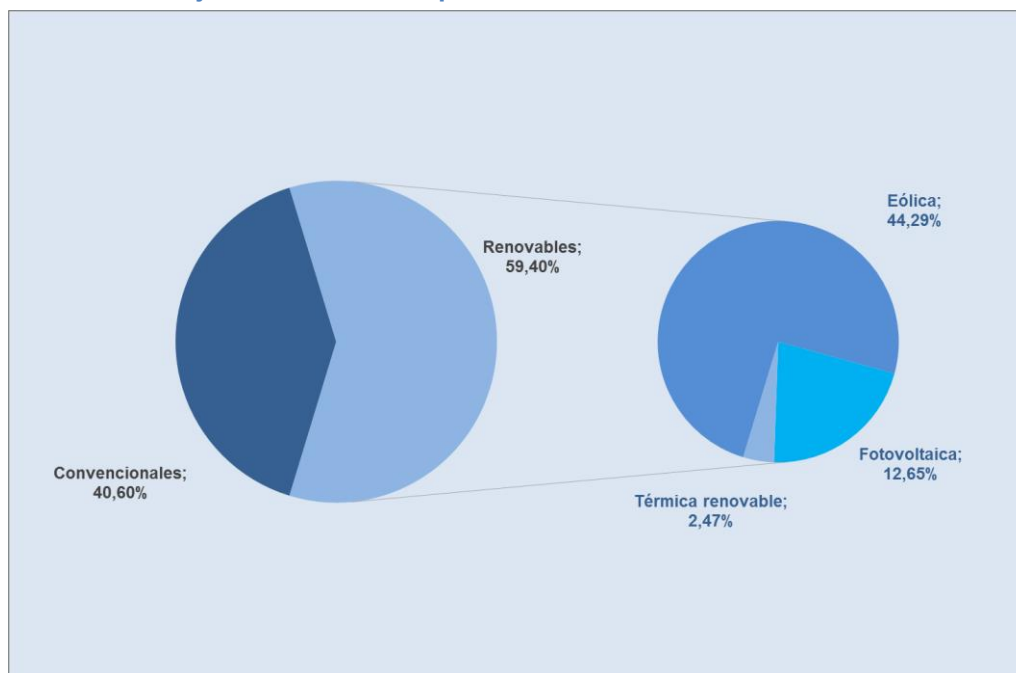
²³ MINETUR (2015): Informe de sostenibilidad ambiental de la planificación del Sector eléctrico 2015-2020

²⁴ Se ha incorporado el escenario de prospectiva contemplado en la Planificación del sector eléctrico de MINETUR al ser la única planificación a 2020 disponible. Incorporar este escenario no significa que Greenpeace considere esta planificación válida, viable, ni que sea la mejor de las opciones posibles. Una introducción más rápida de renovables, eficiencia, gestión de la demanda, electrificación, redes inteligentes e interconexiones permitiría alcanzar escenarios más favorables, tal como se demuestra en los estudios de Greenpeace (2011): “Energía 3.0. Un sistema energético basado en inteligencia” y Greenpeace y Abay Analistas (2014): “El impacto de las energías renovables en la economía con el horizonte 2030”. No obstante, para cuantificar la proporción económicamente óptima de cada una de esas opciones se requiere un análisis técnico aún no disponible. Además, el calendario de cierre nuclear considerado es el más realista, sin intervención proactiva para forzar un alargamiento de la vida útil de las centrales, y esa misma consideración se aplica al calendario de cierre del carbón, que se dará simultáneamente al nuclear.

²⁵ Según la evolución prevista en el balance eléctrico español a 2020 de MINETUR (2015) Informe de sostenibilidad ambiental de la planificación del Sector eléctrico 2015-2020.

Este reparto elevaría, en el año 2020, la producción eléctrica con energías renovables de los 121.475 GWh previstos a 156.928 GWh y su participación en el mix eléctrico del 36.6% al 47,2%.

Gráfico 2. Fuentes de energía a las que se traslada la producción eléctrica nuclear. Año 2020. Porcentaje sobre el total de producción eléctrica



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Producción de energía eléctrica actual y prevista para los Escenarios del año 2020. GWh

	2015	2020	
		Con energía nuclear	Sin energía nuclear
Energías renovables	98.128	121.475	156.928
Eólica	48.380	64.611	91.045
Fotovoltaica	8.264	9.687	17.235
Térmica renovable	4.930	7.170	8.641
Termosolar	5.158	5.158	5.158
Hidroeléctrica sist REE (sin prod bombeo)	25.733	26.000	26.000
Hidroeléctrica resto	5.663	6.620	6.620
Otras		2.229	2.229
Energías convencionales	169.929	209.881	174.427
TOTAL	268.057	331.355	331.355

Fuente: Red Eléctrica Española, MINETUR (2015) y elaboración propia

Tabla 21. Escenario MINETUR previsto para el año 2020

En relación con la evolución de la potencia instalada, **el Escenario** considera las siguientes hipótesis por fuentes energéticas:

– **Carbón:** se mantendrán los grupos actuales, salvo los que expresamente se ha comunicado que no seguirán operativos después de 2015, y aquellos que, previsiblemente de acuerdo a la normativa medioambiental, no continuarán a 31 de diciembre de 2020. No habrá nuevos grupos en el periodo.

– **Productos Petrolíferos:** se mantendrán únicamente en los sistemas no peninsulares y de forma complementaria a la generación con gas y energías renovables.

– **Gas Natural:** el Escenario de prospectiva asume la hipótesis de puesta fuera de servicio temporal de hasta 6.000 MW de ciclos combinados en el sistema peninsular, con recuperación de parte de esta potencia hacia el final del período, como se indica posteriormente en el Capítulo 9 de Alternativas a la planificación del Informe de MINETUR. Entra en funcionamiento nueva potencia en los sistemas no peninsulares y de cogeneración.

– **Nuclear:** se mantiene la potencia actual, considerando la puesta en servicio de nuevo de la central de S.M. de Garoña (Burgos) en 2016.

– **Renovables:** para el cumplimiento de los objetivos fijados en el Escenario de prospectiva de alcanzar una participación de energías renovables sobre generación bruta total del 36,6%, coherente con un 20% sobre consumo final bruto, se estima la necesidad de nueva potencia renovable, con un incremento de capacidad especialmente importante de las tecnologías más competitivas y técnicamente eficientes, en particular eólica y fotovoltaica. La primera es la que mayor crecimiento experimenta (de 22.854 MW instalados a unos 27.650 MW en 2020), seguida de la solar fotovoltaica (de 4.420 MW a unos 5.790 MW en 2020), y la térmica renovable (980 MW y unos 1.254 MW, respectivamente). La tecnología termosolar se mantiene en los 2.300 MW instalados.

– **Generación hidráulica:** no se prevé nuevas instalaciones de grandes centrales de embalse. Para el resto de centrales hidráulicas se prevé una potencia de 2.300 MW en 2020 frente a los 2.102 MW en 2013. Se considera la entrada de nueva potencia en bombeo.

– El Escenario de prospectiva contempla un **mayor grado de interconexión** entre subsistemas eléctricos, que se detallan en el capítulo 3 de la Planificación, así como la introducción del gas natural en generación no peninsular, desplazando la generación con productos petrolíferos

Fuente: MINETUR (2015)

2.2. El aumento de potencia en las fuentes de energía renovables

El trasvase de la producción eléctrica nuclear a otras fuentes de energía, en concreto a los ciclos combinados y a las energías renovables, exige revisar las previsiones de potencia instalada recogidas en el Escenario de prospectiva del Ministerio.

En el caso de los ciclos combinados, la potencia instalada en la península en el año 2015 es de 25.348 MW. Se prevé que se den de baja unos 6.000 MW próximamente (Tabla 22). Por tanto, se contaría con unos 19.348 MW para producir los 109.438,7 GWh requeridos en el escenario 2020 sin nucleares (los 85.222 GWh previstos en el Escenario de prospectiva más el 40,6% de la producción nuclear). A partir de las horas de funcionamiento estimadas, se considera que la potencia ya instalada podría asumir el incremento de producción necesario y que no se requerirían inversiones adicionales en esta tecnología.

En el caso de las energías renovables, y dados los incrementos de producción eléctrica asignados a las distintas tecnologías, sí se requerirían aumentos de potencia instalada respecto a los ya previstos para el año 2020 en el Escenario de prospectiva. Así, se considera que la energía eólica, en un escenario sin nucleares, debería contar con unos 11.312MW adicionales a los ya previstos; la energía fotovoltaica con 4.511MW y la térmica renovable con 257MW. La inversión necesaria para alcanzar estas potencias se estima en unos 17.199 millones de euros (M€ en adelante)²⁶. De ellos, 12.443 irían destinados a la energía eólica.

Tabla 22. Aumento de potencia instalada en energías renovables e inversiones requeridas. Millones de euros.

	Potencia (MW)	Coste de la inversión (M€)
Eólica	11.312	12.443
Solar fotovoltaica	4.511	4.060
Térmica renovable	257	695
Total	16.081	17.199

Fuente: MINETUR (2015) y elaboración propia

²⁶ El valor de la inversión por MW para cada una de las distintas tecnologías se ha obtenido a partir de los datos más actuales, referidos al año 2015, salvo en el caso de la térmica renovable. En esta última se ha considerado el valor medio estimado para el período 2015-2020 en los trabajos realizados para el proyecto "El impacto de las energías renovables en la economía española con el horizonte 2030", editado por Greenpeace en el año 2014.

2.3. El desmantelamiento de las centrales nucleares

El desmantelamiento nuclear es un hecho necesario e inevitable²⁷. Al final de la vida útil de cualquier planta de producción de energía nuclear, esta necesita ser descontaminada de sustancias radioactivas y desmantelada, de forma que el emplazamiento original pueda reconvertirse a otros usos sin peligro alguno para la salud de la población local y para el medio ambiente.

En el caso español, sólo se han acometido dos proyectos de desmantelamiento correspondientes a las centrales nucleares de Vandellós I (Tarragona) y José Cabrera (Guadalajara). En el primer caso, la central cerró en 1989 como consecuencia de un accidente; se inició una primera fase de desmantelamiento entre los años 1998 y 2003; y, actualmente, la central se encuentra en fase de latencia hasta 2028, año en el que está previsto que se inicie la siguiente fase. El proyecto de desmantelamiento de la central José Cabrera, del que se puede encontrar mayor información en el anexo 3 de este mismo informe, se ha ejecutado ya, según ENRESA, al 70%.

Atendiendo a la situación de las plantas nucleares activas y a su año previsto de cese de explotación, cabe concluir que a lo largo de la próxima década deberán acometerse los procesos de desmantelamiento de los ocho reactores aún activos²⁸ y, que por tanto, queda pendiente la mayor parte del desmantelamiento nuclear.

El coste del desmantelamiento de las centrales nucleares se ha estimado por ENRESA en unos 4.400 M€²⁹. Esta cifra incluiría el presupuesto que ya se ha destinado al desmantelamiento parcial realizado en la central de Vandellós I y al proyecto de José Cabrera. Por tanto, las inversiones a ejecutar en la próxima década para cerrar estos dos proyectos y acometer los nuevos proyectos de desmantelamiento se cifran en unos 4.198 M€.

²⁷ European Parliament, 2013; pag 39-40

²⁸ En la fecha de elaboración de este Informe, la central nuclear de Garoña está pendiente del informe del CSN para su reapertura y de la autorización del Gobierno.

²⁹ Esta estimación es consistente con una aproximación propia al coste total del desmantelamiento de las centrales nucleares españolas, realizada a partir de sus características y de los costes unitarios y medios recogidos en la amplia revisión de casos realizada en el primer capítulo de este informe.

Tabla 23. Situación del parque de centrales nucleares en España. Año 2016

Nombre	Tipo reactor	Potencia (neta) MWe	Año de cese de explotación (real o previsto según final de vida útil)	Desmantelamiento		
				Nivel alcanzado	Presupuesto (M€)	
					Total (previsto)	Ejecutado (a 2015)
Vandellós 1	GCR	480	1990	Fase 2	135	108
José Cabrera 1	PWR	160	2006	Fase 2 (70%)		109
Santa María de Garoña	BWR	446	2013	Pendiente inicio		
Almaraz 1	PWR	1049	2019			
Vandellós 2	PWR	1087	2020			
Ascó 1	PWR	1033	2020			
Almaraz 2	PWR	1044	2020			
Cofrentes	BWR	1092	2021			
Ascó 2	PWR	1027	2021			
Trillo-1	PWR	1066	2024			
Total		8484			4.406	

Fuente: IAEA, CSN y ENRESA

2.4. La gestión de los residuos radiactivos

La actividad de las centrales nucleares hasta el final de su vida útil y su desmantelamiento dará lugar a un importante volumen de residuos radiactivos de baja, media y alta actividad, cuyo tratamiento y gestión requerirá de nuevas inversiones.

En España, el almacenamiento y tratamiento de Residuos Radiactivos de Baja y Media Actividad (RBMA) se realiza en la instalación de El Cabril. Las últimas ampliaciones han otorgado a esta instalación capacidad para cubrir el total de las necesidades de almacenamiento de este tipo de residuos, incluidos los procedentes del desmantelamiento de las centrales nucleares.

Los Residuos Radiactivos de Alta Actividad (RAA), que incluyen tanto el combustible gastado como una parte de los residuos procedentes del desmantelamiento de las centrales, se encuentran actualmente en las piscinas de las centrales nucleares, en los Almacenes Temporales Individualizados (ATI) que se han construido en algunas de ellas y en Francia.

El último informe anual del Consejo de Seguridad Nuclear³⁰ señala que, a fecha de diciembre de 2014, la mayor parte del combustible gastado está almacenado en las piscinas, aunque los ATIs ya construidos tienen una capacidad total de 2.704 elementos de combustibles irradiados. Esta capacidad de almacenamiento es aún reducida si se compara con los 19.571³¹ elementos que habrá que gestionar cuando las centrales nucleares hayan acabado su vida útil (Tabla 24).

Tabla 24. Inventario de combustible irradiado y situación de las instalaciones de almacenamiento de las centrales nucleares españolas a finales del año 2014

Central Nuclear	Capacidad total	Reserva núcleo	Capacidad efectiva	Capacidad ocupada	Capacidad libre	Grado de ocupación	Año saturación
	En número de elementos combustibles irradiados				%		
José Cabrera (p)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA ⁽¹⁾
ATI José Cabrera (c)	377	NA	377	377	-	100 ⁽²⁾	NA
Santa María de Garoña (p)	2.609	NA ⁽³⁾	NA ⁽³⁾	2.505 ⁽³⁾	1.043	96,01 ⁽³⁾	NA
Almaraz I (p)	1.804	157	1.647	1.392	255	84,52	2.020
Almaraz II (p)	1.804	157	1.647	1.316	331	79,90	2.021
Ascó I (p)	1.421	157	1.264	1.228	36	97,15	NA ⁽⁴⁾
Ascó II (p)	1.421	157	1.264	1.168	96	92,41	NA ⁽⁴⁾
ATI de Ascó (c)	1.024	NA	1.024	160	864	15,635	- ⁽⁴⁾
Cofrentes (p)	5.404	624	4.780	3.980	800	83,26	2.019
Vandellós II (p)	1.594	157	1.437	1.084	353	75,43	2.021
Trillo (p)	805	177	628	508	120	80,89	NA ⁽⁴⁾
ATI de Trillo (c)	1.680	NA	1.680	588	1.092	35,00	- ⁽⁴⁾
Total (P)	16.862		12.667	13.181	2.095	86,20	
Total ATI	2.704 ⁽⁵⁾		2.704 ⁽⁵⁾	1.125 ⁽⁵⁾	1.956 ⁽⁵⁾	25,31 ⁽⁵⁾	

Fuente: Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado Año 2014

(p) piscina (c) contenedores

Lectura de la Tabla

- Capacidad total, o número de posiciones totales de la piscina.
- Reserva del núcleo o posiciones de la piscina reservadas para albergar los elementos combustibles de un núcleo completo del reactor en caso necesario.
- Capacidad efectiva o capacidad útil de almacenamiento de las piscinas (igual a la capacidad total menos las posiciones de reserva para un núcleo completo)
- Capacidad ocupada, que se corresponde con el número de elementos de combustible irradiado almacenados en la piscina a fecha de 31 de diciembre.
- Capacidad libre y el grado de ocupación en la fecha señalada, referidos ambos a la capacidad efectiva, manteniendo la capacidad de reserva del núcleo (condición necesaria para la operación de las centrales).

³⁰ Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado. Año 2014

³¹ Sexto Plan General para la Gestión de los Residuos Radiactivos.

- Fecha de saturación (estimada considerando los ciclos de operación actuales): se refiere al año de la última recarga posible en la que se completaría la capacidad efectiva de la piscina, pudiendo la central operar hasta finalizar el ciclo, manteniendo la reserva para el núcleo.

Notas:

(1) Todo el combustible gastado anteriormente almacenado en la piscina de José Cabrera (377 elementos) se encuentra en los 12 contenedores ubicados en el Almacén Temporal Individualizado (ATI).

(2) El ATI de la central nuclear de José Cabrera, con capacidad para 16 contenedores, 12 de ellos de combustible gastado y 4 de residuos especiales, ha alcanzado el 100% de la capacidad prevista tras el traslado de estos últimos.

(3) La piscina de la CN de Sta M^a de Garoña, con la descarga del núcleo completo en diciembre de 2012, tiene un porcentaje de ocupación de 96,01%, quedando 104 posiciones libres actualmente.

(4) En las centrales nucleares de Ascó y Trillo no se considera la saturación de la piscina al disponer de un ATI cada una (con capacidad para 32 contenedores tipo HI-STORM 100 en Ascó y de 80 contenedores tipo DPT en Trillo), que junto con la piscina sería suficiente para almacenar el combustible de 40 años de operación.

(5) Capacidad total, libre y el grado de ocupación de los ATI existentes en las centrales nucleares en operación.

En este proyecto se analizan dos escenarios alternativos en relación con la gestión de los RAA. El primero de ellos contempla la construcción de un Almacén Temporal Centralizado (ATC) en los términos en los que está previsto en la documentación más reciente de ENRESA. El segundo prescinde del ATC y propone, para el almacenamiento de los RAA, la construcción de un sistema descentralizado de ATIs, situados en los emplazamientos actuales de las centrales nucleares.

Atendiendo al PGRR³², al final de la vida útil de las centrales, el volumen de RAA que habrá que almacenar de forma definitiva asciende a 11.966 m³, de los cuales la mayor parte (10.164 m³) son elementos de combustible gastado (Tabla 25). Considerando la capacidad de los ATIs que están construidos a fecha de diciembre de 2014³³, si se optase por el sistema de almacenamiento descentralizado habría que construir nuevos almacenamientos con una capacidad total de unos 10.507 m³, lo que equivale a unos 18,5 ATIs tipo³⁴, considerando como tal el de Ascó.

³² 6ª PGRR aprobado por el Consejo de Ministros de 23 de junio de 2006

³³ CSN (2015): Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado Año 2014

³⁴ "ATI tipo" es un concepto teórico que se utiliza para aproximar con mayor facilidad el coste. Por tanto, no significa que se propongan ATIs en 18 emplazamientos distintos, sino que estos estarían incluidos en las 6 instalaciones asociadas a cada una de las CCNN que están pendientes de desmantelamiento.

Tabla 25. Residuos de alta y media actividad a almacenar de forma definitiva y requerimiento de nuevos ATIs en ausencia del ATC

	Cantidad (m ³)
Elementos combustibles	10.164
Vitrificados reproceso CG de Vandellós 1	81
RMA del reproceso CG de Vandellós 1	666
Desmantelamiento CC.NN.	1.055
Total a almacenar de forma definitiva	11.966
	Cantidad (m ³)
RMAA pendientes de almacenar en nuevos ATIS o ampliaciones de los actuales	10.507
	Nº
Nº de ATIs equivalentes (tipo Ascó)	18,5

Fuente: Sexto Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) y elaboración propia

3. Impacto económico del desmantelamiento nuclear. Escenarios parciales

En este apartado se presentan los resultados parciales de las distintas actuaciones e inversiones que serán necesarias para el desmantelamiento del parque de centrales nucleares a medida que éstas vayan abandonando su actividad. Los objetivos específicos del mismo se agrupan en tres:

- **Establecer un conjunto de cifras básicas y de parámetros** que permitan calibrar la dimensión económica de las distintas actuaciones e inversiones requeridas para lograr el desmantelamiento de las centrales nucleares de forma progresiva, a medida que vaya finalizando su vida útil y con el horizonte máximo de 2028.
- **Cuantificar el impacto económico** del cambio de mix energético y, sobre todo, de la ejecución de las inversiones en nueva potencia renovable, en el desmantelamiento de las centrales y en las infraestructuras necesarias para un almacenamiento temporal de los residuos de media y alta actividad.

El tránsito desde los escenarios técnicos del epígrafe previo, habitualmente caracterizados en unidades físicas (relacionadas con la potencia instalada, la generación de energía o la capacidad de almacenamiento) a escenarios económicos, que recojan los principales efectos monetarios derivados de los primeros, exige realizar cierta hipótesis. Todas ellas se hacen explícitas a lo largo del análisis.

El impacto económico de los escenarios se realiza a través de una modelización multisectorial utilizando una desagregación sectorial propia y una actualización³⁵ al año 2014 de las últimas Tablas input-output (TIO) publicadas por el INE. Puesto que los shocks se plantean principalmente como la ejecución de nuevas inversiones, se trabaja con un modelo de demanda, el llamado modelo de Leontief, que es el habitual para modelizar cambios en la inversión o en la demanda final.

El **impacto macroeconómico** se ha calculado a través de la agregación de tres tipos de efectos o impactos:

a. **Impacto directo.** Recoge los efectos tanto del cambio de mix energético como de las inversiones requeridas, que se materializan en un aumento de la demanda final concentrado en distintas ramas de actividad.

b. **Impacto indirecto.** Recoge el efecto positivo provocado por el aumento de la demanda intermedia, es decir, por la demanda que las ramas que han crecido con el impacto directo hacen a otros sectores económicos (que son sus proveedores). Se conoce también como “efecto industrial”.

c. **Impacto inducido:** Recoge el efecto positivo sobre la economía del crecimiento del consumo, motivado por el aumento de la renta disponible en los hogares, debido, a su vez, a la creación de los nuevos empleos. Se conoce también como “efecto consumo”.

A continuación se presenta la cuantificación de los cambios en la demanda agregada y sus impactos (directo, indirecto e inducido) para los distintos componentes o bloques en los que se ha descompuesto el conjunto de actuaciones a desarrollar para alcanzar el desmantelamiento nuclear. Estos resultados permiten incorporar a la toma de decisiones variables de carácter económico y social. De hecho, se estiman las variaciones en el empleo y el Valor Añadido Bruto y se identifican las ramas de actividad que en mayor medida se beneficiarán de las inversiones a ejecutar.

³⁵ Ver anexo metodológico para mayor detalle (Anexo II).

3.1. La sustitución de energía nuclear por otras fuentes

El impacto del cambio en la generación de energía, vinculado al desmantelamiento de las centrales nucleares y detallado en el epígrafe previo, se ha modelizado como un escenario en el que se produce una caída en la demanda final en el sector de energías convencionales (de 5.783 M€). Esta caída es el resultado neto de la reducción total de la demanda de energía nuclear y del aumento de la energía producida con gas (ciclos combinados), tal como se señaló en el epígrafe 2.1 del apartado previo. Asimismo, simultáneamente, se producirá un aumento equivalente en la demanda final de las ramas correspondientes a distintas fuentes renovables³⁶. En concreto, atendiendo al mix propuesto, se prevé un aumento de 4.312 M€ en la demanda final de energía eólica; de 1.231 M€ en la de Energía solar fotovoltaica; y de 240 M€ en la rama de Energía de la biomasa (Tabla 26).

Tabla 26. Cambio en la demanda final debido al nuevo mix energético asociado al desmantelamiento nuclear. Millones de euros

	Ramas del marco Input Output (R-30)	Demanada final (M€)
16	Energías convencionales	-5.783
17	Eólica	4.312
18	Solar fotovoltaica	1.231
20	Energía de la biomasa	240
	Total	0,00

Fuente: Elaboración propia

³⁶ Esta modelización es factible porque se trabaja con una desagregación particular de la TIO en la que se consideran 8 ramas vinculadas al sector de energía eléctrica, una rama de energías convencionales, seis ramas de producción de energía con fuentes renovables y una octava rama de transporte y distribución de energía. Ver Anexo II para mayor detalle.

El **impacto sobre el empleo** de dicho escenario se concreta en la pérdida de unos 6.800 empleos. De ellos, en torno a 3.900 serían empleos directos e indirectos -de las centrales nucleares y de sus sectores proveedores-; y el resto son empleos inducidos es decir, en otros sectores que se verán afectados por la pérdida de empleos directa e indirecta (Tabla 27). Es importante señalar que este resultado es el saldo neto del cambio de “mix energético”: recoge tanto la caída de empleo vinculada a la producción de energía eléctrica nuclear como la creación de empleo por la producción de esa misma energía con otras fuentes. Las energías renovables tienen una estructura de costes con menores consumos intermedios que la energía nuclear, ya que su materia prima es gratuita, y esta característica determina que el saldo neto en el empleo sea negativo.

El impacto sobre el **Valor añadido neto** es positivo y ascendería a **303 M€**, de los cuales 203 M€ se corresponden con el efecto directo e indirecto, es decir, se observa en los propios sectores de producción de energía eléctrica y en sus principales proveedores; y los 100 M€ restantes, con el efecto inducido.

Tabla 27. Impacto económico del cambio en la demanda final debido al nuevo modelo energético asociado al desmantelamiento nuclear. Millones de euros

	Impacto directo e indirecto	Impacto inducido	Impacto total
Variación en la Producción agregada (Millones de €)	-1.198	-559	-1.757
Variación en el Valor Añadido Bruto (Millones de €)	203	100	303
Variación del empleo (Nº de empleos a TCE)	-3.884	-2.924	-6.808

Fuente: Elaboración propia

3.2. El aumento de potencia en las fuentes de energía renovables

Como se señaló en el escenario técnico, el trasvase de producción de energía eléctrica desde las centrales nucleares a fuentes alternativas requerirá un **aumento de la potencia instalada en energías renovables**, con una **inversión asociada de unos 17.200 M€**. La distribución sectorial de estas inversiones (R-62³⁷) indica que los sectores más beneficiados serán el de **Maquinaria y equipo mecánico** (más de 9.500 M€), el de Fabricación de maquinaria y material eléctrico (4.379 M€) y la Construcción (2.076 M€) (Tabla 28).

Tabla 28. Inversiones requeridas para aumentar la potencia en fuentes renovables y destino de las mismas por ramas de actividad. Millones de euros

	Ramas del marco Input Output (R-62)	Inversión	
		Millones €	%
30	Fabricación de productos metálicos	320	1,9%
31	Maquinaria y equipo mecánico	9.553	55,5%
33	Fabricación de maquinaria y material eléctrico	4.379	25,5%
40	Construcción	2.076	12,1%
56	Actividades inmobiliarias	248	1,4%
60	Otras actividades empresariales	159	0,9%
67	Administración pública	465	2,7%
	TOTAL	17.199	100,0%

Fuente: Elaboración propia a partir de Greenpeace y Abay Analistas (2014)

Las inversiones señaladas generarían un impacto económico total en el **VAB de 13.426 M€** (un incremento del 1,4% sobre el VAB del año 2014) (Tabla 29). El impacto directo e indirecto se cifra en 7.125 M€ (un 53,1% del total) y el inducido en 6.301 M€ (46,9%).

El **impacto en términos de empleo** se concreta en la creación de **209.454 empleos a Tiempo Completo Equivalente** (TCE, en adelante) que se harían realidad durante el período en el que se ejecutasen las inversiones. De estos empleos, unos 103.700 se corresponden con el impacto directo e indirecto de las inversiones y 105.729 con su impacto inducido.

³⁷ El los análisis de impacto se trabaja simultáneamente con dos clasificaciones sectoriales: una de 62 ramas de actividad (R-62) y otra de 30 (R-30). Se presenta la información de las inversiones a la R-62 para ofrecer el mayor detalle posible sobre las actividades económicas que en mayor medida se beneficiarán de las mismas. Los resultados del análisis de impacto se presentan a la R-30, por ser esta la clasificación sectorial de la TIO utilizada.

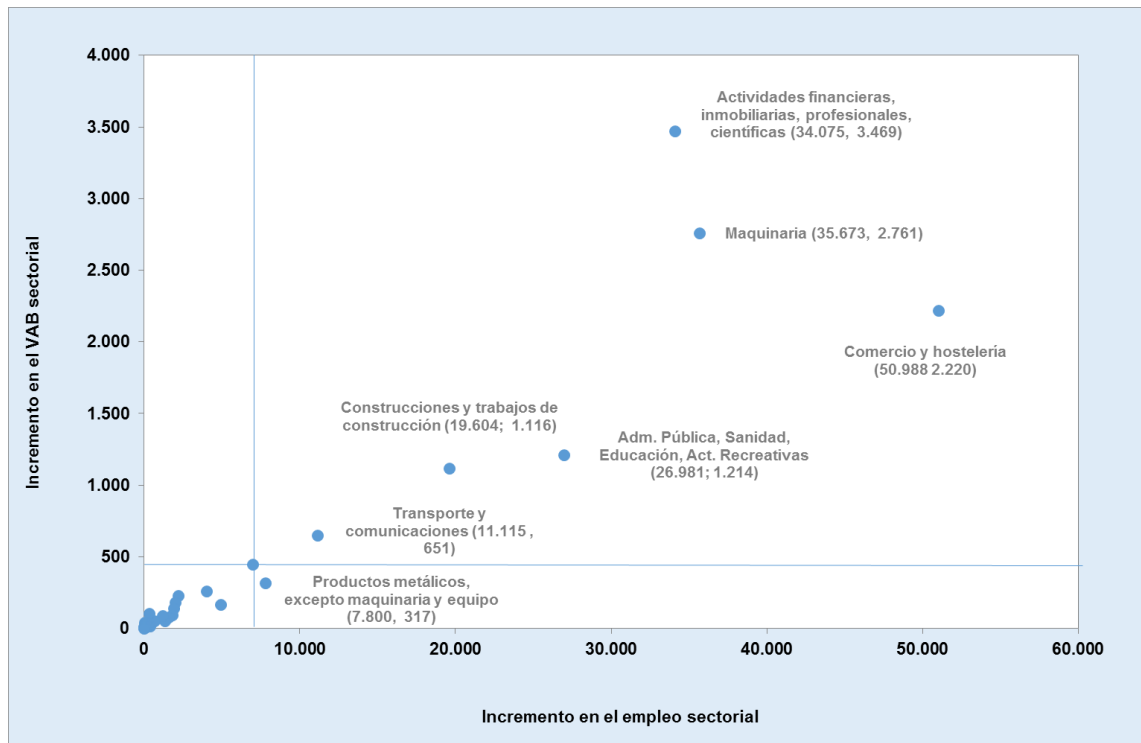
Tabla 29. Impacto económico de las inversiones necesarias para aumentar la potencia en fuentes renovables. Millones de euros

	Impacto directo e indirecto	Impacto inducido	Impacto total
Variación en la Producción agregada (Millones de €)	27.153	13.161	40.314
Variación en el Valor Añadido Bruto (Millones de €)	7.125	6.301	13.426
Variación del empleo (Nº de empleos a TCE)	103.725	105.729	209.454

Fuente: Elaboración propia

Respecto al **impacto en el empleo por sectores**, hay siete ramas que concentran la mayor parte del mismo: Comercio y hostelería; Maquinaria; Actividades financieras; inmobiliarias, profesionales y científicas; Administración Pública, Sanidad, Educación, y actividades recreativas; Construcción; Transporte y comunicaciones y Productos metálicos, excepto maquinaria y equipo (Gráfico 3).

Gráfico 3. Impacto económico de las inversiones necesarias para aumentar la potencia en fuentes renovables por ramas de actividad (R-30). Millones de euros y número de empleos a TCE



Fuente: Elaboración propia

3.3. El desmantelamiento de las centrales nucleares

Las **inversiones requeridas durante la próxima década para cerrar los proyectos de desmantelamiento en curso** (centrales nucleares de Vandellós I y José Cabrera) **y acometer los nuevos proyectos de desmantelamiento se cifran en unos 4.198 M€.**

La distribución de estas inversiones por ramas de actividad condiciona de forma importante el impacto económico de las mismas. Por ello, con objeto de conocer dicha distribución de la forma más precisa posible, se ha realizado una base de datos “ad hoc” a partir de las licitaciones realizadas hasta el momento actual en el desmantelamiento de la central José Cabrera³⁸. Dado que dicho proceso se encuentra en una fase bastante avanzada, se considera que la estructura porcentual de sus inversiones por ramas de actividad puede ser bastante representativa del conjunto de proyectos de desmantelamiento pendientes.

Las estimaciones, apoyadas en la base de datos señalada, indican que **casi la mitad de la cuantía de las inversiones irá al sector de Otras actividades empresariales** (1.926 M€, el 45,9% del total), que aglutina los **Servicios profesionales y técnicos** (incluidos los Servicios de arquitectura e ingeniería; los ensayos y análisis técnicos, etc.), las Actividades de seguridad y las de Limpieza y jardinería (Tabla 30). La **Construcción** es la segunda rama más beneficiada por las inversiones (recibirá unos 1.361 M€, el 32,4% del total). **Los Servicios de Saneamiento público de mercado**, en los que se engloban los servicios especializados de descontaminación, recibirían en torno a 460 M€ y las ramas de **Fabricación de productos metálicos; Maquinaria y equipo mecánico y Seguros** tendrían también una asignación significativa de unos 123, 103 M€ y 79 M€ respectivamente.

El impacto económico de las inversiones se concreta en un **incremento del VAB de 5.614 M€** (Tabla 31). De ellos, 3.207 M€ procederían del impacto directo e indirecto y el resto, 2.407 M€ del impacto inducido. **En términos de empleo**, el impacto total se cifra en **84.840 empleos a TCE** (44.453 estarían vinculados al impacto directo e indirecto y 40.387 al inducido).

³⁸ La base de datos recoge información detallada sobre 211 licitaciones realizadas entre los años 2006 y 2016. A partir del contenido de los concursos, se ha realizado una correspondencia entre los distintos bienes y servicios demandados y la Clasificación Nacional de Actividades del año 2009 (CNAE 2009) y, posteriormente, una segunda correspondencia de esta última clasificación y la del marco Input-output utilizada en los análisis de impacto realizados en el marco de este proyecto (con detalle para 30 ramas de actividad, R-30)

Tabla 30. Inversiones requeridas en el proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares y destino de las mismas por ramas de actividad (R-62). Millones de euros

		Inversión	
Ramas del marco Input Output (R-62)		Millones €	%
9	Producción y distribución de energía eléctrica	42,89	1,0%
11	Captación, depuración y distribución de agua	5,66	0,1%
23	Industria química	2,97	0,1%
28	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	3,10	0,1%
30	Fabricación de productos metálicos	122,91	2,9%
31	Maquinaria y equipo mecánico	103,44	2,5%
35	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	8,91	0,2%
40	Construcción	1.360,66	32,4%
54	Seguros y planes de pensiones	79,02	1,9%
56	Actividades inmobiliarias	4,59	0,1%
58	Actividades informáticas	21,97	0,5%
59	Investigación y desarrollo	1,31	0,0%
60	Otras actividades empresariales	1.926,04	45,9%
61	Educación de mercado	2,57	0,1%
62	Sanidad y servicios sociales de mercado	26,54	0,6%
63	Saneamiento público de mercado	459,11	10,9%
67	Administración pública	26,08	0,6%
TOTAL		4.197,76	100,0%

Fuente: Elaboración propia

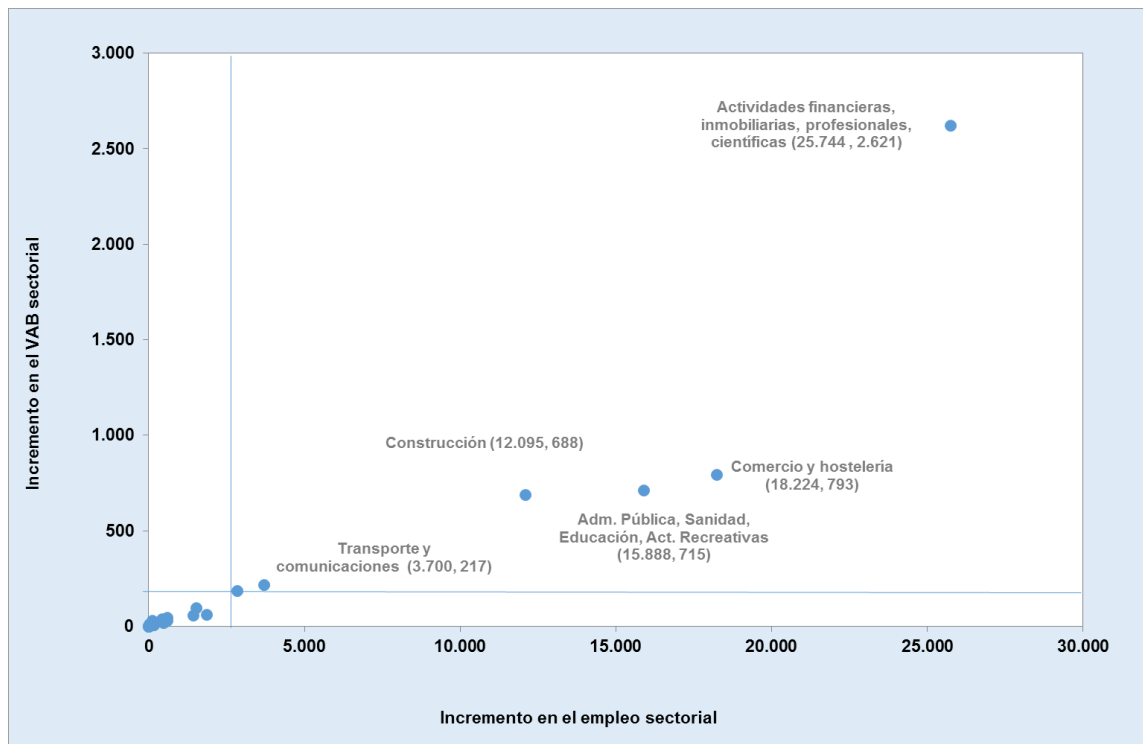
Tabla 31. Impacto económico de las inversiones del proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares. Millones de euros

	Impacto directo e indirecto	Impacto inducido	Impacto total
Variación en la Producción agregada (Millones de €)	6.359	5.027	11.386
Variación en el Valor Añadido Bruto (Millones de €)	3.207	2.407	5.614
Variación del empleo (Nº de empleos a TCE)	44.453	40.387	84.840

Fuente: Elaboración propia

Por ramas de actividad (R-30), los **Servicios a las empresas**, (actividades financieras, inmobiliarias, profesionales y científicas,...) son el sector con un impacto económico más positivo (25.744 empleos a TCE y un incremento en el VAB de 2.621 M€). Le siguen en importancia, aunque a bastante distancia en VAB, las ramas de Comercio y hostelería; Administración Pública, Sanidad, Educación; Construcción y Transporte y comunicaciones (Gráfico 4).

Gráfico 4. Impacto económico de las inversiones en el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalles por ramas de actividad (R-30). Millones de euros y número de empleos a TCE



Fuente: Elaboración propia

3.4. La gestión de los residuos radiactivos

Como ya se ha comentado en el escenario técnico, en este proyecto se contemplan dos escenarios alternativos en relación con la gestión de los RAA. El primero de ellos incluye la construcción del ATC en los términos publicados por ENRESA. El segundo propone, como alternativa al ATC, un sistema descentralizado de ATIs.

Las estimaciones sobre **inversiones requeridas**, basadas en la documentación disponible más reciente, indican que, en el primer escenario el montante total, referido tanto a la inversión en infraestructuras como al coste del transporte de los residuos

hasta el ATC³⁹, se elevaría hasta los 1.232 M€. Por el contrario, completar el sistema actual de ATIs conllevaría una inversión adicional a la ya realizada de unos 370 M€⁴⁰ (Tabla 32).

Respecto a la ramas de actividad que recibirían las inversiones, no hay grandes diferencias entre una y otra opción. Las ramas de Fabricación de productos metálicos, que provee los contenedores para el almacenamiento de los residuos, Fabricación de cemento y Metalurgia recibirían los mayores impactos directos. En el caso de la opción ATC, el Transporte de residuos y las actividades asociadas, tienen también una representación significativa.

Tabla 32. Inversiones requeridas para el almacenamiento temporal de los Residuos radiactivos de alta actividad en las dos opciones contempladas. Destino de las mismas por ramas de actividad. Millones de euros

		ATC		ATIs	
Ramas del marco Input Output (R-62)		Millones €	%	Millones €	%
25	Fabricación de cemento, cal y yeso	188,3	15,3%	93,1	25,2%
29	Metalurgia	219,6	17,8%	50,1	13,6%
30	Fabricación de productos metálicos	297,1	24,1%	169,6	45,8%
33	Fabricación de maquinaria y material eléctrico	21,6	1,8%	4,1	1,1%
35	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	71,7	5,8%	12,3	3,3%
40	Construcción	53,3	4,3%	16,6	4,5%
47	Transporte terrestre y transporte por tubería	251,9	20,4%	0,0	0,0%
60	Otras actividades empresariales	126,0	10,2%	23,0	6,2%
67	Administración pública	2,6	0,2%	1,0	0,3%
Total		1.232,2	100,0%	369,8	100,0%

Fuente: ENRESA y elaboración propia

Respecto al **impacto económico de una y otra opción, ambos difieren, principalmente, en la magnitud del mismo** (Tabla 33). En el caso del ATC, se estima que la creación de empleo directo, indirecto e inducido, alcanzaría los 21.852 empleos a tiempo completo equivalente (TCE)⁴¹ y un incremento del VAB de 1.379 M€. El escenario que recoge la posibilidad de completar el sistema de ATIs actual, el impacto sobre el empleo se cifra en unos 7.000 empleos a TCE y el impacto en el VAB en 425 M€.

³⁹ No se incluye en esta estimación los gastos de operativa del ATC.

⁴⁰ No se incluye en esta estimación los gastos de operativa de los ATIs.

⁴¹ La medición de los empleos a Tiempo Completo Equivalente (TCE) establece equivalencias para los empleos a jornada parcial y los convierte en empleos a jornada completa. Por ejemplo, dos trabajadores/as a media jornada (4 horas diarias) se computan como un/a solo/a trabajador/a a TCE).

Tabla 33. Impacto económico de las inversiones requeridas para el almacenamiento temporal de los Residuos radiactivos de alta actividad en las dos opciones contempladas. Millones de euros

	Impacto directo e indirecto	Impacto inducido	Impacto total
Opción ATC			
Variación en la Producción agregada (Millones de €)	2.292	1.314	3.606
Variación en el Valor Añadido Bruto (Millones de €)	750	629	1.379
Variación del empleo (Nº de empleos a TCE)	11.296	10.556	21.852
Opción ATIs			
Variación en la Producción agregada (Millones de €)	717	424	1.141
Variación en el Valor Añadido Bruto (Millones de €)	222	203	425
Variación del empleo (Nº de empleos a TCE)	3.548	3.407	6.955

Fuente: Elaboración propia

El impacto total por sectores es muy similar en las dos opciones. En términos de empleo, el 94% del mismo se concentra en las ramas que reciben el impacto directo y en Comercio y hostelería y Alimentación.

4. Impacto económico del desmantelamiento nuclear. Escenario global

En el epígrafe previo se ha presentado el impacto económico de los distintos bloques en los que se han dividido las actuaciones necesarias para alcanzar el desmantelamiento completo del parque nuclear en España al término de su vida útil. En este, se presenta un análisis global de los mismos.

4.1. Impacto económico

Sin duda, en términos de inversiones requeridas, el aumento de potencia en las fuentes renovables representa la actuación más importante (el 79% de las inversiones totales en la Opción ATIs y el 76%, en la Opción ATC) (Tabla 34). Le siguen, en cuantía, las inversiones vinculadas al desmantelamiento de las centrales nucleares, que representan, en ambos casos, el 19% de las inversiones totales. Por último, el almacenamiento temporal de los residuos sólo constituye el 5% si opta por el ATC; y el 2% si se elige la opción de completar el sistema de ATIs.

Tabla 34. Inversiones requeridas para el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalle en las dos opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos. Millones de euros

	Opción ATIs		Opción ATC	
	Millones €	%	Millones €	%
Aumento de potencia en energías renovables	17.199	79%	17.199	76%
Desmantelamiento de las centrales nucleares	4.198	19%	4.198	19%
Almacenamiento temporal de los residuos	370	2%	1.232	5%
Total	21.766	100%	22.628	100%

Fuente: Elaboración propia

El **impacto del conjunto de actuaciones a desarrollar se cifraría en unos 300.000 empleos a TCE** (aproximadamente 294.500 en el caso de la Opción ATIs y 309.330 en el caso de la Opción ATC) (Tabla 35). La creación de empleo asociada a la instalación de nueva potencia renovable es la de mayor envergadura (209.454 empleos a TCE), seguida del desmantelamiento (84.840 empleos a TCE).

El **impacto sobre el VAB** se cifra en un **aumento próximo a los 20.000 M€** (19.768 en la Opción ATIs y 20.721 en la Opción ATC). Este incremento representa un aumento del PIB, respecto al escenario base, del 2,1% y del 2,2% respectivamente.

Tabla 35. Impacto económico de las actuaciones e inversiones requeridas para el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalle en las dos opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos. Millones de euros

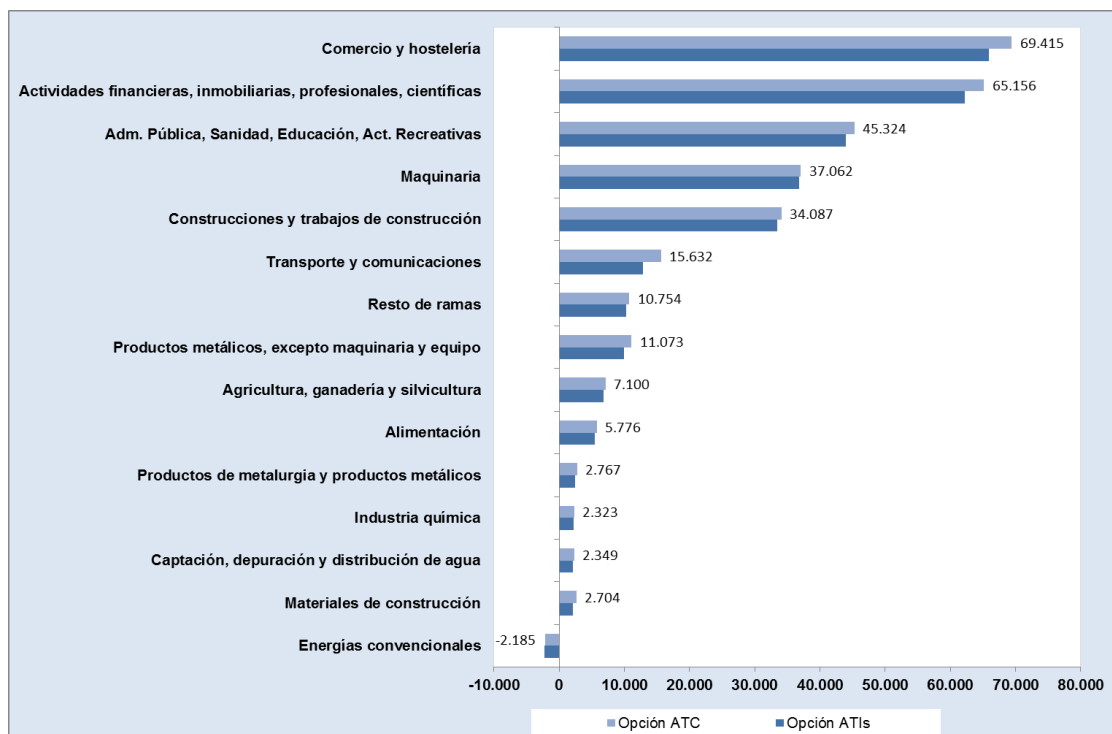
	Trasvase de producción energía eléctrica nuclear a otras fuentes	Aumento de potencia en energías renovables	Desmantelamiento de las centrales nucleares	Almacenamiento temporal de los residuos		Total	
				Opción ATIs	Opción ATC	Opción ATIs	Opción ATC
Variación del empleo (Nº de empleos a TCE)							
Impactos directo e indirecto	-3.884	103.725	44.453	3.548	11.296	147.841	155.589
Impacto inducido	-2.924	105.729	40.387	3.407	6.955	146.600	150.148
Impacto total	-6.808	209.454	84.840	6.955	21.852	294.441	309.338
Producto Interior Bruto (Millones de €)							
Impactos directo e indirecto	203	7.125	3.207	222	750	10.757	11.284
Impacto inducido	100	6.301	2.407	203	629	9.011	9.437
Impacto total	303	13.426	5.614	425	1.379	19.768	20.721
Incremento en el PIB (%)	0,0%	1,4%	0,6%	0,0%	0,1%	2,1%	2,2%

Fuente: Elaboración propia

4.2. Impacto sectorial

El detalle de la creación de empleo indica que **los dos sectores más beneficiados son Comercio y hostelería**, que aglutina la mayor parte de los impactos inducidos, y las **Actividades financieras, profesionales y científicas**, que concentran una parte muy significativa del impacto directo de las inversiones. Un segundo grupo de sectores con un impacto también muy significativo en términos de empleo, serían Administración Pública, Sanidad y Educación, Maquinaria y Construcción (Gráfico 5).

Gráfico 5. Impacto económico de las inversiones requeridas para el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalle por ramas de actividad (R-30) y por opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos. Millones de euros



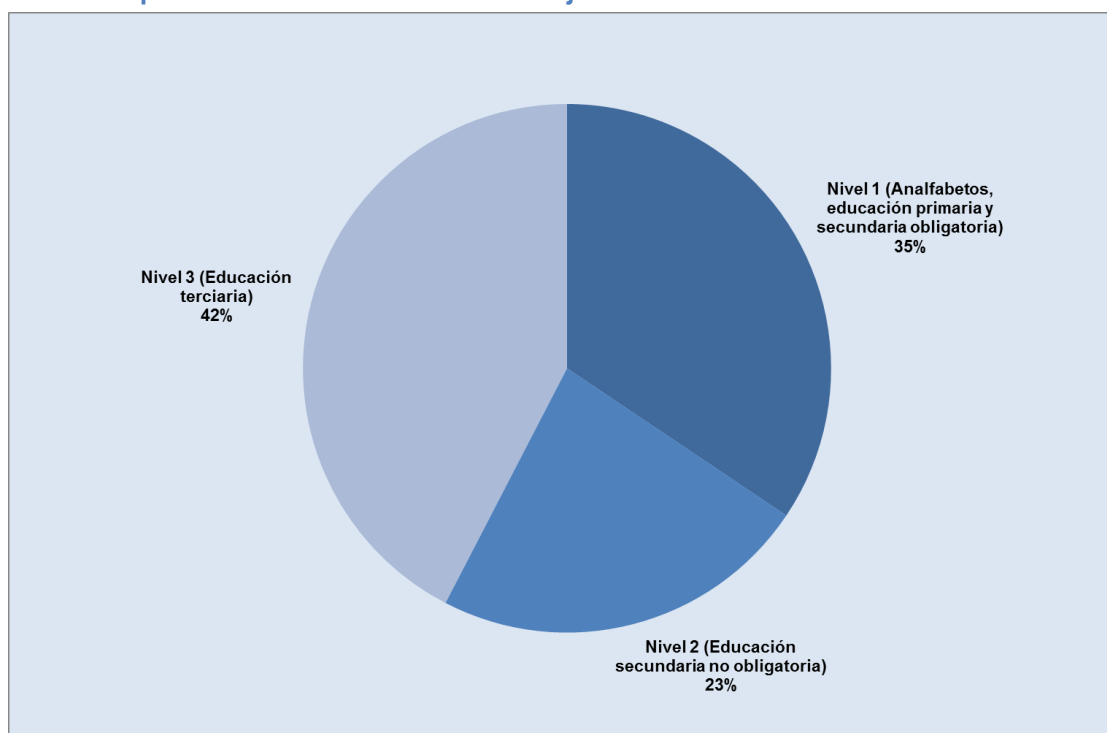
Fuente: Elaboración propia

4.3. Impacto sobre el empleo

Un elemento importante a la hora de valorar el impacto socioeconómico es el tipo de empleo creado, en especial en los que se refiere al **nivel de cualificación**, y este está muy vinculado a las ramas de actividad que reciben los mayores impactos.

Atendiendo a la demanda de cualificación de los distintos sectores, cabe señalar que **el 42% del empleo neto creado por el proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares será empleo de alta cualificación** (universitario y/o con estudios de postgrado) (Gráfico 6). Este empleo se creará, principalmente, en las ramas de **Actividades** financieras, inmobiliarias, **profesionales** y científicas, en Administración Pública, Sanidad y Educación y en la Industria mecánica (Maquinaria y Productos metálicos). Un 35% adicional, tendrá una cualificación media-baja (educación primaria y secundaria obligatoria) y se creará principalmente en las ramas de Comercio y Hostelería y Construcción y trabajos de construcción.

Gráfico 6. Distribución del empleo neto creado en el desmantelamiento de las centrales nucleares por niveles de estudios. Porcentaje sobre el total



Fuente: Elaboración propia

4.4. Impacto fiscal

Los resultados del impacto fiscal para un amplio número de figuras impositivas⁴² se resumen en los puntos siguientes (Tabla 36):

- Los **impuestos netos sobre los productos** (impuestos sobre los productos que se pagan por cada unidad producida o distribuida de un determinado bien o servicio⁴³ menos las subvenciones a la explotación⁴⁴) ascendería a 367 M€ en el caso de la Opción ATIs y de 388 M€ en la Opción ATC.
- La recaudación en el grupo de “Otros impuestos netos sobre la producción” (principalmente IAE e IBI) alcanzaría los 422 M€ en la Opción ATIs y los 439 M€ en la Opción ATC.
- Por último, las recaudaciones estimadas por cotizaciones sociales que en las dos Opciones alternativas alcanzaría los 1.972 y los 2.070 M€ respectivamente.

Tabla 36. Impacto fiscal parcial del desmantelamiento nuclear. Detalle en las dos opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos. Millones de euros

	Escenario Total	
	Opción ATIs	Opción ATC
Impuestos netos sobre los productos	367	388
Otros impuestos netos sobre la producción	422	439
Cotizaciones a la Seguridad Social	1.972	2.070
Total	2.761	2.896

Fuente: Elaboración propia

⁴² El único impuesto que podría verse afectado de forma significativa y que no se ha contemplado en esta estimación es la recaudación en el Impuesto de las Personas Físicas (IRPF) vinculada a los sueldos y salarios de los empleos creados.

⁴³ Se incluyen en esta categoría IVA, aranceles, impuestos especiales (entre ellos, el Impuesto sobre la Electricidad, Tasas, Impuesto sobre Transmisiones Patrimoniales y Actos Jurídicos Documentados y el Impuesto sobre el Incremento del Valor de los Terrenos de Naturaleza Urbana).

⁴⁴ Son transferencias corrientes que las administraciones públicas en el marco de su política energética y/o ambiental efectúan a las unidades que producen bienes o servicios, en este caso energía eléctrica, destinados a la venta con el fin de influir en los precios y/o permitir una remuneración adecuada de los factores de producción.

CAPÍTULO IV. PRINCIPALES CONCLUSIONES

A continuación se presenta un resumen de los aspectos que se consideran más destacados en relación con la revisión de la literatura económica referida al desmantelamiento nuclear y los principales resultados del análisis de impacto económico realizado en este proyecto para el caso del futuro proceso de desmantelamiento nuclear en España.

1. El desmantelamiento nuclear en el análisis económico

Los análisis económicos relacionados con el desmantelamiento nuclear han tenido como objetivo último asegurar la financiación necesaria para poder llevarlo a cabo. Por ello, **la mayor parte de la literatura económica** en este campo **se centra en la estimación de los costes** de las distintas actividades que integran el largo proceso de desmantelamiento. Los análisis referidos a su impacto socioeconómico, ya sea en términos de empleo o en otros aspectos, son mucho menos frecuentes; aunque sí se han realizado algunos estudios de caso que profundizan en estos aspectos, sobre todo a nivel local. Por último, cabe señalar que hay algunos análisis de impacto, como el aquí realizado, apoyados en el marco Input Output, pero centrados en proyectos de desmantelamiento individuales. En este sentido, este proyecto, cuyo ámbito es el desmantelamiento global del parque nuclear, no cuenta con referentes previos.

Como se ha señalado, el análisis del **impacto socioeconómico** de los proyectos de desmantelamiento se ha limitado a unos pocos trabajos. No obstante, en líneas generales, los estudios de caso realizados en varios países parecen dibujar un escenario, a medio plazo, más bien optimista. Así, tras la pérdida inicial de puestos de trabajo en la central nuclear, el propio proceso de desmantelamiento y la diversificación económica que suelen experimentar las localidades en las que se asentaban las instalaciones, puede conllevar la generación de nuevas oportunidades laborales para la población. A nivel nacional, los dos estudios que analizan el desmantelamiento de la Central de Vandellòs I también muestran resultados positivos en términos de empleo en el medio plazo.

Además, es importante señalar que la mayoría de los análisis de impacto socioeconómico realizados no tienen en cuenta algunas consideraciones que pueden llevar a la infravaloración del mismo. Así, el ámbito de los análisis es mayoritariamente local mientras que hay efectos que claramente superan esta esfera; no se contempla la creación de empleo en fuentes de energía alternativas, consecuencia del cierre de las plantas nucleares; en el escenario base no se tiene en cuenta que el cierre de la central es un hecho cierto, y que sus empleos no se mantendrían indefinidamente; y, por último, no suelen incorporarse tampoco los efectos positivos que el cierre puede tener sobre la diversificación productiva y la atracción de proyectos empresariales muy sensibles a las condiciones de entorno.

2. La financiación del desmantelamiento nuclear

Los proyectos de desmantelamiento nuclear se enmarcan en períodos de largo y muy largo plazo. Por ello, **el primer y más importante principio que rige la política de financiación de este tipo de procesos es el de justicia intergeneracional** o “Polluter Pays Principle”, según el cual las generaciones que utilizan la energía nuclear tienen la obligación de preservar los recursos científicos, técnicos y financieros necesarios para que las futuras generaciones puedan llevar a cabo la fase decisiva de desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

Para asegurar la aplicación efectiva de este principio, deben provisionarse los fondos necesarios durante la vida operativa de las plantas nucleares para poder realizar en un futuro su proceso de desmantelamiento. La cuestión de la financiación, como ya se ha señalado, ha sido central en la literatura económica, y el principio de justicia intergeneracional puede quebrarse si no se presta especial atención a ciertos riesgos como: la subestimación de los costes reales del desmantelamiento; negligencias; la falta de equilibrio entre el ritmo de provisión de fondos y la vida útil de las centrales; o los problemas en la administración de la provisión global de fondos específicos.

Por tanto, el establecimiento de **un sistema de financiación** de proyectos de desmantelamiento **requiere**, para una efectiva ejecución, del desarrollo de un **marco legal** adecuado y, sobre todo, de **una correcta estimación de los costes**, tanto de forma previa al desmantelamiento como de forma periódica, durante las sucesivas revisiones de costes que se efectúen a lo largo del propio proceso.

De acuerdo con la práctica internacional, los mecanismos de recaudación de fondos para el desmantelamiento más habituales son: ingresos del operador por la venta de la electricidad, con la posterior tasa pagada por parte del operador al fondo; sobreprecio en la tarifa eléctrica; donaciones de otros países u organizaciones internacionales; subsidios por parte de gobiernos nacionales y/o regionales; intereses y/o beneficios de las operaciones financieras realizadas por el fondo (por ejemplo, por la venta de sistemas o la valorización de residuos); y sanciones impuestas por parte de la autoridad reguladora al operador.

En el caso español, con objeto de poder hacer frente al **coste** de las actividades vinculadas al **desmantelamiento nuclear**, que **según las últimas estimaciones, podría alcanzar los 20.200 M€**, desde el año 1983 se viene dotando una provisión específica, que actualmente se denomina Fondo para la financiación de las actividades del PGRR. A fecha de diciembre de 2014, el Fondo contaba con un saldo de 4.254 M€.

No obstante, un reciente informe europeo, que compara la disponibilidad de fondos específicos para el desmantelamiento de las centrales nucleares y la gestión de los residuos en distintos Estados miembros, pone de manifiesto que en España **la financiación disponible ni siquiera alcanza el 30% de la financiación total que se va a requerir**⁴⁵, a pesar de que el parque nuclear ha superado ya el 57% de su vida útil⁴⁶. Este porcentaje es el más bajo de los países europeos occidentales para los que se dispone de información y sólo los antiguos países del Este presentan porcentajes inferiores.

Además, un informe del **Tribunal de Cuentas**, publicado en el año 2015, señala que los últimos cambios normativos que han afectado al Fondo son acordes a la normativa europea y garantizan que los costes relacionados con la gestión de los residuos radiactivos recaigan en los titulares de las licencias de explotación de las centrales nucleares y del resto de instalaciones radiactivas. No obstante, se señala también que **la naturaleza del Fondo no garantiza el principio de justicia intergeneracional**, ya que este “no constituye una provisión contable en sentido estricto (...) y no estaría garantizado, como requiere la normativa comunitaria, que no se trasladen a generaciones futuras parte de los costes derivados de la clausura y desmantelamiento de las instalaciones nucleoelectricas, principio que inspira también la legislación nacional de protección del medioambiente”. De hecho, en este mismo informe se alerta sobre una **infradotación del Fondo superior a los 1.500 M€**, motivada por el hecho de que, desde el año 2010, no se hayan actualizado las tasas que se aplican a las centrales nucleares, lo que hubiera sido necesario para recoger las desviaciones al alza en los costes de desmantelamiento estimados. Por tanto, la **necesidad de mejorar la correspondencia entre la dotación al Fondo y el período de vida útil de las centrales nucleares, acelerando la primera, parece un tema prioritario en el caso español**.

3. El impacto económico del desmantelamiento nuclear en España

Atendiendo a las características del parque nuclear español, en un periodo inferior a 10 años, deberá haber cesado la producción en los ocho reactores operativos actualmente⁴⁷ por haber llegado estos al final de su vida. Por tanto, a lo largo de la próxima década, de forma gradual, deberá trasvasarse la producción de energía a otras fuentes e iniciarse los procesos de desmantelamiento correspondientes.

⁴⁵ Este porcentaje en realidad es inferior ya que el coste total estimado no recoge la última actualización de julio de 2015, que lo eleva, sin considerar los costes de estructura, a 17,5 mil millones de euros.

⁴⁶ En este cálculo el Informe Europeo considera 60 años de vida útil (Long Term Operation).

⁴⁷ Hay que tener en cuenta la situación de la Central de Santa María de Garoña, la cual lleva sin producir energía tres años y, actualmente, se encuentra a la espera de dictamen del CSN

El cálculo del impacto económico del proceso de desmantelamiento nuclear en España se ha apoyado en la construcción de un escenario técnico global, que incluye cuatro escenarios parciales referidos a: el trasvase de la producción de energía eléctrica nuclear a otras fuentes de energía; el incremento adicional de potencia instalada en energías renovables para poder sustituir la producción eléctrica nuclear; la deconstrucción de las centrales nucleares y la restauración de sus emplazamientos y el almacenamiento temporal de los residuos de la alta actividad, procedentes tanto de la actividad de las centrales durante su vida útil como del propio proceso de desmantelamiento.

El **escenario técnico** se apoya tanto en la prospectiva al año 2020 que el propio Ministerio de Industria, Energía y Turismo publicó en 2015 como en estimaciones oficiales de ENRESA (referidas a los costes y procesos de desmantelamiento de las centrales y a la cantidad de residuos nucleares a gestionar) y tiene los siguientes elementos troncales:

- El cierre a la caducidad de las licencias de explotación de las centrales implicará la necesidad de trasvasar la producción de 59.670 GWh anuales (el 18,01% del mix eléctrico) a otras fuentes alternativas.
- Atendiendo al Escenario de prospectiva utilizado como base, se propone trasvasar el 59,4% de la producción nuclear a fuentes renovables y el 40,6% restante a energías convencionales (ciclos combinados).
- En el caso de las energías renovables se requerirían aumentos de potencia instalada respecto a los ya previstos para el año 2020. Así, se considera que la energía eólica debería contar con unos 11.312 MW adicionales; la energía fotovoltaica con 4.511 MW y la térmica renovable con 257 MW. La inversión necesaria para alcanzar estas potencias se estima en unos 17.199 M€. De ellos, 12.443 irían destinados a la energía eólica.
- En la próxima década, las inversiones requeridas para cerrar los proyectos de desmantelamiento en curso (centrales nucleares de Vandellós I y José Cabrera) y acometer los nuevos proyectos de desmantelamiento se cifran en unos 4.198 M€.
- En relación con la gestión de los RAA se analizan dos escenarios alternativos. El primero de ellos contempla la construcción de un Almacén Temporal Centralizado (ATC). El segundo propone como alternativa un almacenamiento de los RAA en un sistema descentralizado de ATIs, situados en los emplazamientos actuales de las centrales nucleares.

- Atendiendo al PGRR, al final de la vida útil de las centrales⁴⁸, el volumen de RAA que habrá que almacenar de forma definitiva asciende a 11.966 m³, de los cuales, la mayor parte (10.164 m³), son elementos de combustible gastado. Considerando la capacidad de los ATIs ya disponibles, si se optase por el sistema de almacenamiento descentralizado habría que construir nuevos almacenamientos con una capacidad total de unos 10.507 m³.

El impacto económico del escenario técnico detallado en los párrafos previos se ha calculado con la metodología Input-Output y ofrece resultados sobre distintas variables económicas.

Así, se estima que el proceso de desmantelamiento nuclear en España requerirá **inversiones** por una cuantía aproximada de 22.000 M€ (21.766 si se opta por la gestión de los residuos en ATIs y 22.628 M€ si se construye el ATC). El aumento de potencia en las fuentes renovables representa la actuación más importante en términos financieros, en torno a 17.200 M€ (lo que representa entre el 75% y el 79% de la inversión total). Le siguen, en cuantía, las inversiones vinculadas al desmantelamiento de las centrales nucleares con unos 4.198 M€ (19% de las inversiones totales) y el almacenamiento temporal de los residuos con una inversión prevista de 370 M€ en la Opción de los ATIs y unos 1.232 M€ en el caso de la Opción del ATC (2% y 5%, respectivamente, de la inversión total).

El **impacto económico** de las actuaciones e inversiones requeridas para el desmantelamiento nuclear en España se cifra en un aumento del PIB próximo a los 20.000 M€ (19.768 en la Opción ATIs y 20.721 en la Opción ATC), lo que representa un aumento adicional, respecto al escenario base, del 2,1% y del 2,2% respectivamente.

En términos de **creación de empleo**, el impacto económico se estima en unos 300.000 empleos a TCE (294.500 en el caso de la Opción ATIs y 309.330 en el caso de la Opción ATC). La creación de empleo asociada a la instalación de nueva potencia renovable es la de mayor envergadura (209.454 empleos a TCE), seguida del desmantelamiento (84.840 empleos a TCE).

Respecto al **impacto sectorial**, los dos sectores más beneficiados por la creación de empleo son Comercio y Hostelería, que aglutina la mayor parte de los impactos inducidos, y las Actividades financieras, profesionales y científicas, que concentran una parte muy significativa del impacto directo de las inversiones. Un segundo grupo

⁴⁸ El Sexto PGRR elabora sus previsiones para un escenario de referencia en el que se contempla una vida útil de 40 años para las centrales operativas.

de sectores, con un impacto también muy significativo en términos de empleo, serían Administración Pública, Sanidad y Educación; Maquinaria; y Construcción.

En relación con **el tipo de empleo creado**, en concreto, respecto al nivel de cualificación del mismo, los resultados indican que el 42% del empleo neto creado por el proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares será empleo de alta cualificación (universitario y/o con estudios de postgrado). Este empleo se creará principalmente en las ramas de Actividades financieras, inmobiliarias, profesionales y científicas, en Administración Pública, Sanidad y Educación y en la industria mecánica (Maquinaria y Productos metálicos). Un 35% adicional tendrá una cualificación media-baja (educación primaria y secundaria obligatoria) y se localizará principalmente en las ramas de Comercio y Hostelería y Construcción y trabajos de construcción.

Los resultados del **impacto fiscal** indican que el aumento de la recaudación vinculado al proceso de desmantelamiento nuclear, sin incluir la recaudación por IRPF, podría aproximarse a los 2.800 M€. En el impacto fiscal se han contemplado los impuestos netos sobre los productos, cuyo aumento se aproximaría a los 370 M€; el grupo de “Otros impuestos netos sobre la producción” (principalmente IAE e IBI), que alcanzaría un incremento de en torno a los 425 M€; y las cotizaciones sociales que aumentarían en unos 2.000 M€.

Los resultados obtenidos en este proyecto ponen de manifiesto que el desmantelamiento nuclear que se va a efectuar a lo largo de la próxima década no sólo tendrá un claro impacto en términos ambientales y de seguridad sino que, además, puede suponer un importante incentivo para la economía española. El cierre de las plantas nucleares acelerará el tránsito hacia un modelo energético más sostenible, con una mayor participación de las energías renovables. Todo ello, implicará un importante volumen de inversiones destinadas a la instalación de nueva potencia que, junto a las actividades propias del desmantelamiento, dinamizarán algunos sectores industriales y de servicios y contribuirán a una importante creación de empleo, tanto de alta como de baja cualificación. La disponibilidad actual de fondos de inversión internacionales enfocados a las infraestructuras energéticas renovables y la mayor conciencia ciudadana sobre la necesidad de un avance rápido hacia las energías renovables, junto con el impulso político que cabría esperar del Acuerdo de París sobre el Cambio Climático, facilitarán el desarrollo del escenario de desmantelamiento aquí planteado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barceló Vernet (2003), "Social and Economic Aspects of the Decommissioning of Nuclear Installations", páginas 403-410 en IAEA (2002), *Safe decommissioning for nuclear activities*, Proceedings of an International Conference, Berlin 14-18 October

BfS & BMUB (2015), Nuclear Regulatory Issues and Main Developments in Germany, 27 Oct

Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) (2008): "Desmantelamiento y clausura de las centrales nucleares"

Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) (2015): "Informe del Congreso de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y Senado, 2014"

ENRESA (2007), Memoria del desmantelamiento 1998-2003, Central Vandellós I

ENRESA (2015), Memoria del desmantelamiento de la CN José Cabrera 2010-2014

European Commission – Coordination Network on Decommissioning (2008), Project Management and Planning.

European Commission (2016): "Nuclear Illustrative Programme presented under Article 40 of the Euratom Treaty for the opinion of the European Economic and Social Committee" (Brussels, 2016. Commission Staff Working Document. Accompanying the document.

European Parliament (2013) – Directorate General for Internal Policies – Policy Department Budgetary Affairs (2013), *Nuclear Decommissioning: Management of Costs and Risks*

Graffunder (2014), "The German Experience", International Seminar on Nuclear Decommissioning, 11-12 Dec 2014, Milano (Italy)

Grangeston Economics (2012): Socio-economic Impacts of Dounreay Decommissioning. Highlands and Islands Enterprise and Dounreay Site Restoration Ltd

Greenpeace (2011): "Energía 3.0. Un sistema energético basado en inteligencia"

Greenpace y Abay Analistas (2014): " El impacto de las energías renovables en la economía con el horizonte 2030"

Grenouillet, J.J. (2009), "International Cooperation for the Dismantling of Chooz A Reactor Pressure Vessel – 9087", WM 2009 Conference, March 1-5

Haller (2014), "The Socio-Economic Effects of Decommissioning on Local Communities: A Media Framing Analysis of the Experience of Wiscasset, Maine", *Middle States Geographer*, 2014, 47: 48-59

House of Commons – Committee of Public Accounts (2013), "Nuclear Decommissioning Authority: Managing Risk at Sellafield", Twenty-Fourth Report of Session 2012-13

IAEA (2004), Transition from Operation to Decommissioning of Nuclear Installations.

IAEA, (2008): "Decommissioning of Nuclear Facilities: Training and Human Resource Considerations", IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-2.3

IAEA (2005a), *Financial Aspects of Decommissioning*

- IAEA (2005b), *Selection of Decommissioning Strategies: Issues and Factors*
- IAEA, 2008, *Managing the Socioeconomic Impact of the Decommissioning of Nuclear Facilities*, Technical Report Series N° 464
- IAEA (2008): Innovative and Adaptive Technologies in Decommissioning of Nuclear Facilities.
- IAEA (2011), "Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities", IAEA Nuclear Energy Series, No. NW-G-2.1
- IDAE (2011): "Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables. Estudio técnico PER 2011-2020". Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo
- Imielski (2014), "Operational Decommissioning Experiences in Germany", 6th International Summer School, Operational Issues in Radioactive Waste Management and Nuclear Decommissioning, 8-12 Sept 2014, Ispra (Italy)
- Instituto Nacional de Estadística: Tablas Input-Output de la economía española. Disponible en <http://www.ine.es>
- Instituto Nacional de Estadística: Contabilidad Nacional de España. Disponible en <http://www.ine.es>
- Knaack, M. (2012), "Decommissioning – three main strategies: Immediate dismantling, Safe enclosure (Deferred dismantling), Entombment", IAEA RER/9/120, Workshop on planning and licensing of decommissioning projects
- La Guardia (2012), "Financing and Economics of Nuclear Facility Decommissioning", capítulo 4 en Michele Laraia (Ed.), *Nuclear Decommissioning: Planning, Execution and International Experience*
- La Guardia, T. (2014), Cost Estimating for Decommissioning Nuclear Reactors in Sweden
- Lahr, M. L. and Dietzenbacher, E. (2001): *Input-Output Analysis: Frontiers and Extensions*. Palgrave, New York
- Leontief, W. (1936): Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States. *The Review of Economic Statistics* 18: 105-125
- Leontief, W. (1941): *The Structure of American Economy, 1919-1929: an Empirical Application of Equilibrium Analysis*, Cambridge, Harvard University Press.
- Llop, M.; Sardà, J. (2005): Impacto económico del desmantelamiento de la central nuclear Vandellós I. Enresa Publicación técnica 08/2005.
- Mc Cullough et al. (2013), *Economic Analysis of the Columbia Generating Station*, Mc Cullough Research
- Miller, R. E.; Blair, P. D. (2009): *Input-Output Analysis. Foundations and Extension*, 2nd Edition, Cambridge University Press, New York
- MINETUR (2015): Informe de sostenibilidad ambiental de la planificación del Sector eléctrico 2015-2020

- MINETUR (2015): Informe de sostenibilidad ambiental de la planificación del Sector eléctrico 2015-2020
- Mullin & Kotval (1997), "The Closing of the Yankee Rowe Nuclear Power Plant: The Impact on a New England Community", *Landscape Architecture and Regional Planning*
- NEA (1999), *A proposed Standardised List of Items for Costing Purposes in the Decommissioning of Nuclear Installations*
- NEA (2003), *Decommissioning Nuclear Power Plants. Policies, Strategies and Costs*
- NEA (2006), *Decommissioning Funding: Ethics, Implementation, Uncertainties*
- NEA (2010), *Cost Estimation for Decommissioning. An International Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements.*
- NEA & IAEA & EC (2012), *International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations.*
- NEA (2012), "Estimation of nuclear facility decommissioning costs. Current Status and Prospects", Working Party on Decommissioning and Dismantling
- NEA (2013), "Cost Control Guide for Decommissioning of Nuclear Installations", Radioactive Waste Management Committee
- NEA (2013), Radioactive Waste Management Programmes in OECD/NEA Member Countries – Spain
- NEA & IAEA & EC, (2015): *The Practice of Cost Estimation for Decommissioning of Nuclear Facilities.*
- O'Sullivan & Pescatore (2009), "Cost estimation for decommissioning: a review of current practice", NEA Updates – NEA News, Nº 27.2
- Pescatore, Hedberg & Rehak (2012-13), "Estimation and Comparability of Nuclear Facility Decommissioning Costs", NEA News, 2012/13, Nº 30.2/31.1
- Red Eléctrica de España (2016): El Sistema Eléctrico Español. Avance 2015
- Red Eléctrica de España (2016): Informe del Sistema Eléctrico Español 2015
- Rehs (2012), "German Decommissioning Guideline – Summary of Aspects of Licensing and Supervision which are Relevant in the Decommissioning Procedure", Federal Office for Radiation Protection (BfS)
- Reference Economic Consultants (2006): Socio-Economic Study: Opportunities Arising from the Decommissioning of Dounreay. Caithness & Sutherland Enterprise and The Nuclear Decommissioning Authority.
- Riener, K. D. (2010): The Local Economic Impacts of Decommissioning the Diablo Canyon Power Plant. California Public Utilities Commission and Pacific Gas and Electric Company.
- Robles, L.; Sanjuán, J. (2005): "Análisis comparativo de las tablas input-output en el tiempo", Estadística Española, vol. 47, num.

Rothschild (2015), Economic Analysis for the Paks II nuclear power Project. A rational investment case for Hungarian State resources

Stahl & Strub (2009), Decommissioning of Nuclear Facilities, Gesellschaft für Anlagen – und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

Thomas, S. (2005), The Economics of Nuclear Power: Analysis of Recent Studies, Public Services International Research Unit

TLG Services Inc. (2011), Decommissioning Cost Analysis for the Monticello Nuclear Generating Plant

Tribunal de Cuentas (2015): Informe de fiscalización de la gestión realizada por la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. del fondo para la Financiación de las actividades del Plan General de Residuos Radiactivos, Ejercicios 2010 y 2011, Informe nº 1075.

UK Government (2004), The Decommissioning of the UK Nuclear Industry's Facilities

US Congress – Office of Technology Assessment (1993), Aging Nuclear Power Plants: Managing Plant Life and Decommissioning

US Department of Energy (2000), Decommissioning Handbook. Procedures and Practices for Decommissioning.

US Nuclear Regulatory Commission (2015), “Decommissioning Nuclear Power Plants”, *Backgrounder* – Office of Public Affairs

VV.AA. (2011), “International Structure for Decommissioning Costing”, NEA News, N° 29.1

VVAA (2006), Cost Calculations for Decommissioning and Dismantling of Nuclear Research Facilities, Phase 1

World Nuclear Association (2015), “Decommissioning Nuclear Facilities”.

Wüppertal Institute Ed. (2007), *Comparison among different decommissioning funds methodologies for nuclear installations, Final Report & Country Reports for Spain, France, Germany and UK*

Wüppertal Institute, 2007, Country Report Studies Bacharat, M. (1970): Biproportional matrices and input-output change, Cambridge University Press.

ANEXO I. ASPECTOS INTRODUCTORIOS

1. La energía nuclear

Una central nuclear es una planta industrial que produce electricidad. El método más utilizado es la fisión (división en los núcleos de los átomos) de materiales fisionables como el uranio o el plutonio, provocando reacciones en cadena de neutrones (radiación) que producen calor en el fluido que circula por unos tubos en el reactor nuclear. Esto se convierte en vapor que acciona una turbina generando así electricidad, lo que se denomina energía nuclear.

El uranio es la principal materia prima para la fabricación del combustible de las centrales nucleares, el cual pasa por un proceso de extracción, fabricación de los concentrados de uranio, conversión a hexafluoruro de uranio y enriquecimiento, hasta llegar finalmente a la fabricación del combustible.⁴⁹

En el mundo funcionan alrededor de 442 reactores en centrales nucleares, principalmente en Europa, Asia y Estados Unidos⁵⁰. En España, en el año 2016, se encontraban en funcionamiento 7 reactores (Tabla 37) con una potencia total instalada de 7.866 MWe. La producción de energía eléctrica nuclear durante 2015 fue de 56.796 GWh., representando el 21 % del total de la producción del sistema eléctrico nacional.

Tabla 37. Reactores nucleares en España. Características y estado.

CENTRAL	TIPO DE REACTOR	ESTADO	CAPACIDAD (mwE)	AUTORIZACIÓN CONSTRUCCIÓN	PUESTA EN MARCHA
ALMARAZ-1	PWR	Operativo	1049	1973	1981
ALMARAZ-2	PWR	Operativo	1044	1973	1983
ASCO-1	PWR	Operativo	1033	1974	1983
ASCO-2	PWR	Operativo	1035	1975	1985
COFRENTES	BWR	Operativo	1102	1975	1984
JOSE CABRERA (Zorita)	PWR	En desmantelamiento	150	1964	1968
SANTA MARIA DE GARONA	BWR	Cese de actividad	466	1966	1971
TRILLO-1	PWR	Operativo	1066	1979	1988
VANDELLOS-1	GCR	En desmantelamiento	500	1968	1972
VANDELLOS-2	PWR	Operativo	1087	1980	1987

Fuente: IAEA y CSN

⁴⁹Para mayor información sobre conceptos básicos de las centrales nucleares y su funcionamiento se pueden consultar las infografías en la siguiente página:

[https://www.csn.es/documents/10182/1007670/Centrales%20nucleares%20\(infograf%C3%ADa\)](https://www.csn.es/documents/10182/1007670/Centrales%20nucleares%20(infograf%C3%ADa))

⁵⁰ www.iaea.org/PRIS, base de datos del PRIS (Power Reactor Information System)

Historia de las Centrales Nucleares en España

Las centrales se pueden clasificar en tres generaciones de acuerdo con el momento en que entraron a operar en el mercado. En la primera generación, entre los años 1960 y 1970, comenzaron a funcionar 3 plantas: José Cabrera (Zorita) (Guadalajara), Vandellós I (Tarragona) y Santa María de Garoña (Burgos). La central más antigua en España, José Cabrera, inició su construcción en julio de 1965, entró en operación comercial en agosto de 1969, se desconectó en 2006 y actualmente se encuentra en fase de desmantelamiento.

La central nuclear de Vandellós I se conectó en 1972 y cerró en octubre de 1989 a raíz de un incendio sufrido en el núcleo del reactor. La instalación quedó afectada en los sistemas de seguridad, por lo que el Ministerio de Industria y Energía retiró la licencia de explotación. El Consejo de Seguridad Nuclear identificó una serie de requisitos de seguridad que debía cumplir para reanudar las actividades pero el titular de la misma (Hifrensa), en su análisis coste-beneficio, consideró injustificables las inversiones por lo que renunció a su reapertura. La central se encuentra actualmente en proceso de desmantelamiento.

La central nuclear de Santa María de Garoña se conectó a la red en 1971 y actualmente se encuentra parada por expiración de su licencia y cesada de actividad de forma definitiva y oficial desde el 6 de julio de 2012.⁵¹

Las centrales de la segunda generación fueron construidas en los años 70 y entraron a operar a principio de años 1980. Son cinco: Almaraz I y II (Cáceres), Ascó I y II (Tarragona), Cofrentes (Valencia). Y, por último, las de la Tercera Generación, construidas a finales de los 70, entraron a operar a finales de los 80. Son: Vandellós II (Tarragona) y Trillo (Guadalajara).

Diversos incidentes en las centrales nucleares en los años 80⁵² crearon conciencia de los riesgos que implica para la población y para el medio ambiente el riesgo de fugas radioactivas y la gestión de los residuos. A raíz de esto, distintos actores (comunidad científica, movimientos ecologistas y sociedad civil en general) se manifiestan en contra de las centrales nucleares, lo que hace que los gobiernos se planteen la paralización e incluso la finalización de los programas nucleares en el mundo. En España, esto se conoció como *moratoria nuclear*, que derivó a la suspensión temporal de los programas nucleares, paralizando las nuevas construcciones, pero no implicó el cierre de las instalaciones activas. Como consecuencia, en 1991, se interrumpieron y

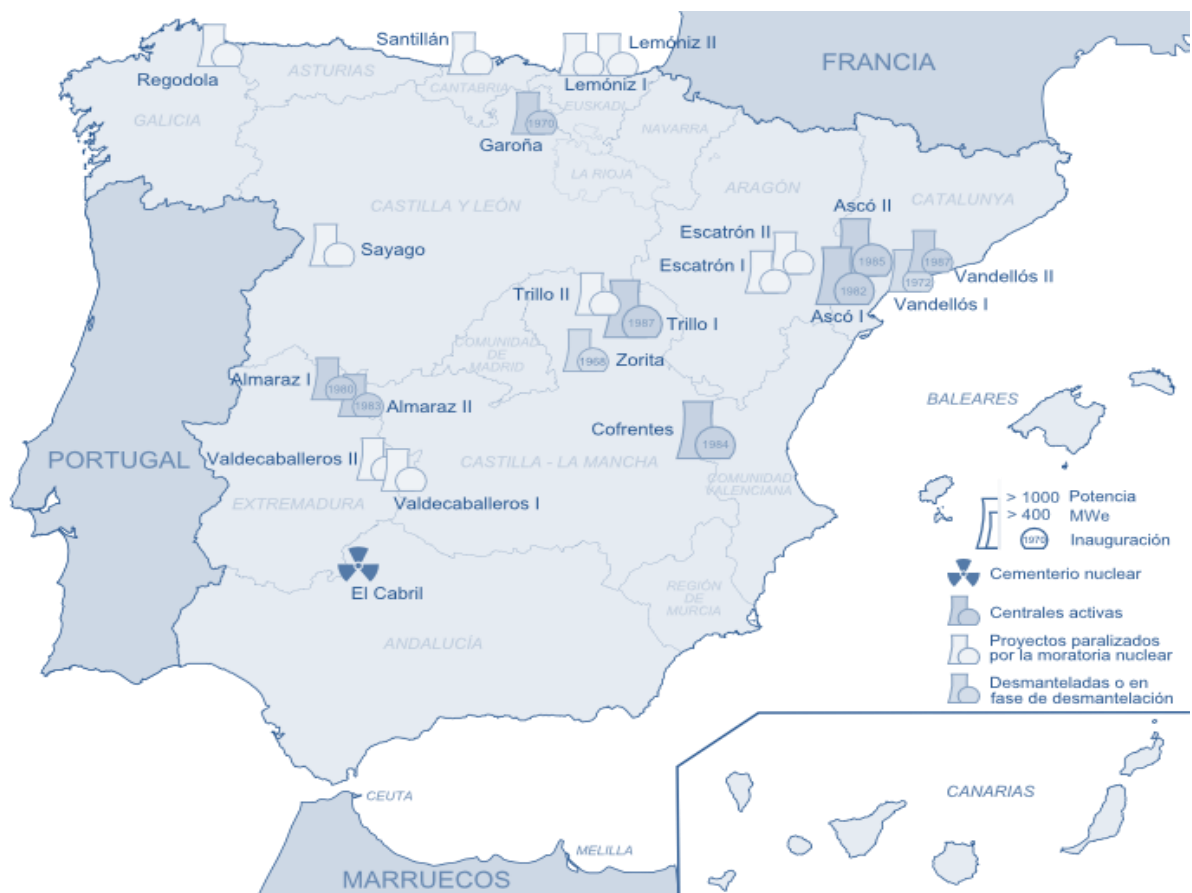
⁵¹ Boletín Oficial del Estado (10 de julio de 2012). «Orden ET/1302/2013, de 5 de julio, por la que declara el cese definitivo de la explotación de la central nuclear de Santa María de Garoña.»

⁵² Sobre todo, el de la Central Nuclear de Chernobyl en 1986.

suspendieron las obras de 7 centrales nucleares proyectadas: Lemóniz I y II, Valdecaballeros I y II, Trillo II, Regodola I y Sayago I.

Las compañías eléctricas dueñas de las centrales ya habían hecho inversiones en la construcción de estas, por lo que en España la factura eléctrica incluyó un sobrecargo, de entre 0,447% y 1,72% en el recibo de la luz, que fue destinado a compensar los gastos realizados.

Centrales nucleares en España



Fuente: Tomado de Gómez Fernández, E. (Centrales Nucleares en España, 2008)

Entidades de interés

La Empresa Nacional de Uranio (ENUSA), construida en 1972, es la encargada de la gestión del aprovisionamiento de concentrados de uranio, de los servicios de conversión y enriquecimiento y del abastecimiento de combustible a las centrales nucleares españolas.

En 1980, se crean el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), encargado de las funciones reguladoras en materia de seguridad nuclear y protección radiológica y el

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), encargado de los proyectos de investigación y desarrollo en áreas como: tecnología nuclear, protección radiológica, medio ambiente y energías renovables.

En 1984 se constituye la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), con el fin de establecer planes para la gestión de los mismos y poner en marcha un sistema de gestión de los residuos de baja y media actividad (RBMA) generados en España. ENRESA también es la encargada del desmantelamiento y clausura de las instalaciones nucleares.

En 1992 entra en funcionamiento el Centro de Almacenamiento de Residuos de Baja y Media Actividad (RBMA) de El Cabril, en la provincia de Córdoba. De esta forma, España dispone de un sistema completo de gestión para los RBMA. Dentro de este sistema, las instalaciones nucleares requieren del acondicionamiento de los residuos según las especificaciones de aceptación de ENRESA para dicho almacenamiento en El Cabril.

2. El proceso de desmantelamiento

El fin de la actividad de una central nuclear, ya sea por la expiración de su licencia o debido a alguna otra circunstancia (por ejemplo, por accidentes) da lugar a la etapa de desmantelamiento. El CSN⁵³ define este proceso como *“el conjunto de acciones y procesos, tanto de carácter técnico como administrativo que, tras su retirada definitiva del servicio, se encarga de eliminar progresivamente la radiactividad remanente que pueda permanecer en las zonas afectadas por su antigua operación”* (CSN, 2008, p.6). Se resalta, además, que el objetivo principal del desmantelamiento es asegurar que el uso que se pueda dar a ese emplazamiento en el futuro no suponga riesgos radiológicos para la población ni el medio ambiente.

Los puntos importantes a tener en cuenta para el desmantelamiento son:

- La carga radiológica y el entorno de trabajo en ese medio.
- La gestión de residuos radiactivos generados, tratamiento y almacenamiento.
- El requerimiento de protección radiológica.
- Los costes y medio disponibles.

⁵³ Este apartado está basado en el documento del CSN, 2008

El desmantelamiento es un proceso complejo y desarrollado en un periodo de tiempo considerable contemplando las tres estrategias básicas para desmantelar y clausurar una central nuclear⁵⁴:

- 1) desmantelamiento inmediato, después del cese de operación de la central;
- 2) desmantelamiento diferido, una vez retirados los elementos combustibles y estructuras básicas, se mantiene un período de latencia (30 a 100 años) para luego proceder a su desmantelamiento;
- 3) acondicionamiento in situ, se procede a encapsular y aislar la instalación en su emplazamiento hasta que decaigan los niveles de radiactividad lo suficiente para ser desmantelada.

Se presentan a continuación las fases o etapas habituales asociadas al desmantelamiento (Tabla 38):

- Nivel 1. Retirada de elementos combustibles irradiados, barras de control y líquidos contaminados. Se mantienen las estructuras básicas como se encontraban durante la operación de la central (ahora sin combustible), manteniendo los controles de seguridad y controles radiológicos tanto dentro de la planta como en el área circundante.
- Nivel 2. Las estructuras básicas se reducen a su mínimo, desmontando y sellando la mayor parte del emplazamiento y procediendo a realizar actividades de descontaminación hasta niveles considerados aceptables. La vigilancia puede reducirse manteniendo ciertos controles y chequeos periódicos.
- Nivel 3. Los procesos de descontaminación y retirada de materiales de la planta pueden continuar. La instalación debe quedar desmontada completamente pudiendo servir para otros fines. El emplazamiento debe quedar libre de peligro radiactivo y sin necesidad de vigilancia.

⁵⁴ Estas estrategias pueden modificarse y entremezclarse de acuerdo a las circunstancias de cada caso.

Tabla 38. Fases de desmantelamiento de una central nuclear

	Nivel 1 Cierre bajo vigilancia	Nivel 2 Liberación parcial y condicional del emplazamiento	Nivel 3 Liberación total e incondicional del emplazamiento
ESTADO DE LA INSTALACIÓN	Mantenimiento en el estado original	Reducción al mínimo de los volúmenes confinados Reforzamiento de la estanqueidad y protección biológica	Desmantelada
ESTADO DE LOS EQUIPAMIENTOS	Mantenimiento de barreras Acceso muy limitado Confinamiento controlado	Una o varias barreras Acceso libre alrededor del confinamiento	Se han retirado los materiales con actividades significativas
DISPOSICIONES PARTICULARES	Evaluación de fuentes radiactivas	Descontaminación de las zonas liberadas	Ausencia de radiactividad
VIGILANCIA	Continua	Restringida e intermitente	No necesaria
INSPECCIÓN	Periódica y continua	Escalonada en el tiempo	No necesaria
VERIFICACIÓN	Adaptada al nivel de riesgo	Menos rígida y adaptada al nivel de riesgo	No necesaria
DURACIÓN	20-50 años	100-200 años	Ilimitado

Fuente: CNS, 2008, p.13

3. La gestión de los residuos

Como se ha mencionado, ENRESA es la encargada de la gestión de los residuos radiológicos en España, quien implanta lo que denominan el Plan General de Residuos Radiactivos. El último es el VI Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR en adelante), aprobado por el Consejo de Ministros el 23 de junio de 2006, y cuyo contenido se resume muy bien en el artículo 5.2 del Real Decreto 102/2014: *"En el Plan se recogerán las estrategias, actuaciones necesarias y soluciones técnicas a desarrollar en España en el corto, medio y largo plazo, encaminadas a la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, al desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares y al resto de actividades relacionadas con las anteriores, incluyendo las previsiones económicas y financieras y las medidas e instrumentos necesarios para llevarlas a cabo."* Por esta razón, dicho Plan es el documento básico de referencia para este apartado junto a la información disponible en la página del Ministerio de Industria, Energía y Turismo y la de la propia ENRESA⁵⁵.

La Ley 25/1964, sobre Energía Nuclear, define residuo radiactivo como *"Cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radio nucleídos en concentraciones o niveles de*

⁵⁵ http://www.enresa.es/files/multimedios/6PGRR_Espa_ol_Libro_versi_n_indexada.pdf

actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear”.

El problema principal que implica la generación de residuos radiactivos es la permanencia en la biosfera por un tiempo prolongado en el futuro, sin posibilidad de eliminación a corto plazo. Por esa razón, se necesitan sistemas de tratamiento, confinamiento y almacenamiento especiales, junto con normas específicas de seguridad y protección del medio ambiente y de las personas.

Existen varios tipos de residuos radiactivos en función del estado físico en que se encuentran, del tipo de radiación que emiten, del periodo de vida, de la forma de gestión, etc. La clasificación en España se realiza desde esta última, de acuerdo con los criterios adoptados por el Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA en adelante (1994) y la Comisión Europea (1999), y se distinguen dos grupos:

- 1) Residuos de Baja y Media Actividad (RBMA): por sus características, pueden ser almacenados temporalmente, tratados, acondicionados y almacenados definitivamente en las instalaciones de “El Cabril” (Córdoba), incluyendo entre ellos al subconjunto de los Residuos de Muy Baja Actividad (RBBA). Estos residuos contienen baja actividad específica por elemento radiactivo, no generan calor y contienen radio nucleídos emisores beta-gamma con un periodo de semidesintegración de menos de 30 años.
- 2) Residuos de alta actividad (RAA): están formados, básicamente, por el combustible gastado por las centrales nucleares. Estos contienen radio nucleídos emisores alfa de vida larga, que reducen su actividad a la mitad en más de 30 años. Adicionalmente, se incluyen también en este conjunto aquellos otros Residuos de Media Actividad (RMA) que, por sus características, no son susceptibles de ser gestionados de forma final en las condiciones establecidas en El Cabril y requieren instalaciones específicas para ello.

Los residuos radiactivos en España pueden tener los siguientes orígenes:

- Operación y desmantelamiento de las centrales nucleares (7 reactores en operación en 5 emplazamientos + 2 reactores en desmantelamiento) y uno parado (Santa María de Garoña). [Una central de 1.000 MW produce al año \approx 20 tU CG + (50 – 130 m³ RBMA)]⁵⁶.
- Operación y desmantelamiento de la Fábrica de elementos combustibles de Juzbado (Salamanca).

⁵⁶ Datos del MINETUR

- Aplicación de los radioisótopos a la medicina, industria, agricultura e investigación (≈ 1.400 instalaciones que producen ≈ 40 m³/año RBMA).
- Procedentes del reprocesado en el extranjero del combustible gastado procedente de centrales nucleares españolas.
- Residuos generados en el Plan Integral de Mejora de las Instalaciones del CIEMAT (PIMIC).
- Resultantes de la operación de las propias instalaciones de almacenamiento.
- Procedentes de incidentes ocasionales, por ejemplo, en el reciclado de materiales metálicos.

En el PGRR se especifica que los residuos generados en las centrales nucleares se almacenan temporalmente en las propias instalaciones. Los RBMA tienen como destino final su traslado a El Cabril. El combustible gastado, en principio, se almacena bajo agua en unas piscinas específicas para tal efecto. Luego es trasladado a instalaciones de Almacenamiento Temporal Individualizado (ATI), ubicada en la misma central o a un Almacenamiento Temporal Centralizado (ATC), que es un punto en concreto que concentraría los RAA de todas las centrales.

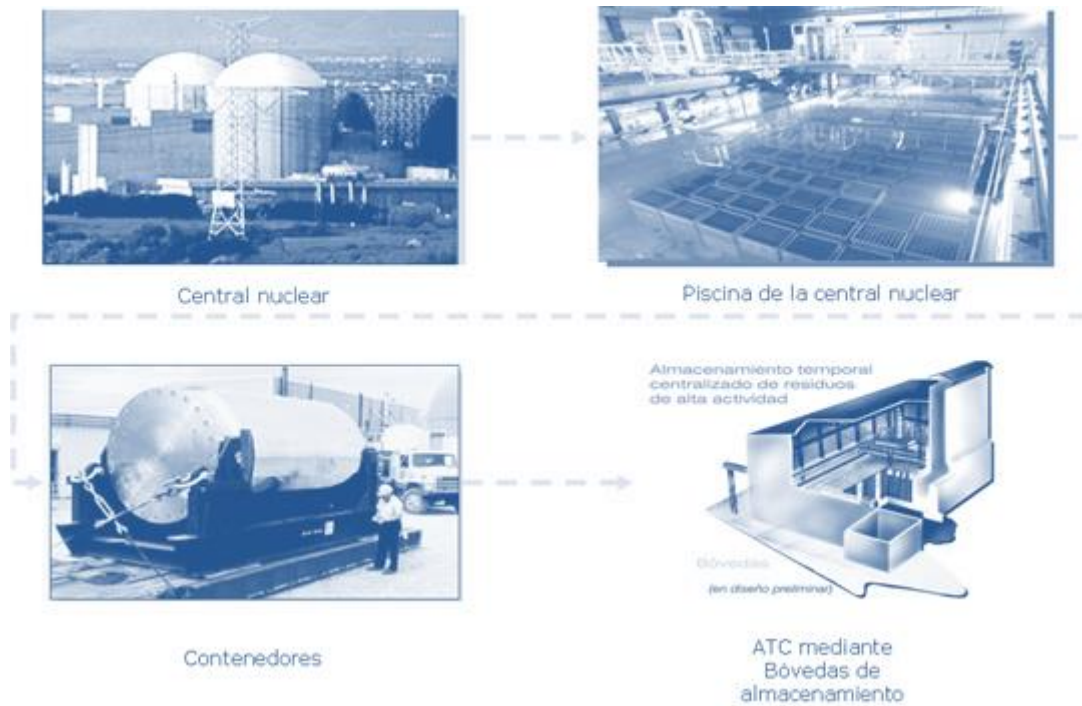
Actualmente existen ATIs en la central nuclear de Trillo, la de José Cabrera, y las centrales nucleares de Ascó. Se contempla también la construcción de un Almacén temporal centralizado (ATC) de residuos de alta actividad centralizado en el municipio de Villar de Cañas de la provincia de Cuenca.

Por otro lado, tal y como recoge el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, el destino final y las formas de gestión del combustible gastado y RAA pueden tener las siguientes soluciones técnicas⁵⁷:

- *“El almacenamiento definitivo en un Almacenamiento Geológico Profundo (AGP) (ciclo abierto).*
- *El envío a una planta de reproceso (ciclo cerrado) con lo que se considera un recurso útil al aprovecharse el potencial energético del uranio y del plutonio remanentes en el combustible gastado. Los residuos resultantes del reprocesado deberán almacenarse en un AGP.*
- *El desarrollo de la separación y transmutación podría conducir a una disminución significativa de la actividad y volumen de los residuos a almacenar. No obstante, es opinión generalizada del mundo científico que esta tecnología podrá ser complementaria del AGP, pero no una alternativa”.*

⁵⁷ <http://www.minetur.gob.es/energia/nuclear/Paginas/IndexEnergiaNuclear.aspx>

Ilustración 1. Destino y forma de gestión del combustible gastado y los RAA (proceso)



Fuente: MINETUR

Cuadro 2. Normativa principal referida a las centrales nucleares en España

La mayor parte de la normativa referida a la energía nuclear tiene su base en los acuerdos internacionales que España ha suscrito y publicado en el Boletín Oficial del Estado y, por ello, tienen fuerza de Ley. Por otra parte, dado que España tiene una estructura política de autonomías, algunas funciones del Estado han sido transferidas (MINETUR)⁵⁸. A continuación se enuncian las principales leyes y decretos referidos a la energía nuclear:

- Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, aprobado por Real Decreto 1836/1999, modificado por el Real Decreto 35/2008, de 18 de enero.
- Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos.
- VI Plan General de Residuos Radiactivos, actualmente vigente.
- Decreto-Ley de 22 de octubre de 1951, por el cual se creó la Junta de Energía Nuclear.
- Ley 25/64, de 29 de abril, de Energía Nuclear (BOE 4.5.64).
- Ley 40/94, de 30 de diciembre, de ordenación del Sistema Eléctrico Nacional.
- Ley 54/97, 27 Noviembre, del sector eléctrico, que la modifica (BOE 28.11.97).
- Ley 15/80, 22 de abril, de creación del CSN (BOE 25.4.80).
- Ley 14/99, 4 de mayo, de tasas y precios públicos por servicios del CSN (BOE 6.5.99).
- Real Decreto 1836/99, de 3 de Diciembre, Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas (BOE 31.12.99).
- Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (BOE 12.2.92).
- El Real Decreto 229/2006, de 24 de febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas (BOE 28-2-06)
- Real Decreto 40/2009, de 23 de enero, por el que se determinan los valores a aplicar para la financiación de los costes correspondientes a la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado, y al desmantelamiento y clausura de instalaciones.
- Real Decreto 1308/2011, de 26 de septiembre, sobre protección física de las instalaciones nucleares y los materiales nucleares, y de las fuentes radiactivas (BOE 7.10.2011).
- Boletín Oficial del Estado español la Ley 12/2011, de 27 de mayo, de responsabilidad civil por daños nucleares y producidos por materiales radiactivos
- Convención Conjunta sobre seguridad en la gestión de combustible gastado-residuos radiactivos, hecha en Viena el 5 de septiembre de 1997, ratificada por España en 1999 y en vigor desde el 18 de junio de 2000.
- Convención sobre seguridad Nuclear, hecha en Viena el 20 de septiembre de 1994 y ratificada

⁵⁸ <http://www.minetur.gob.es/energia/nuclear/Legislacion/Paginas/legislacion.aspx>

por España en 1995. Está en vigor desde el 24 de octubre de 1996. A fecha 9 de enero de 2014, son 65 los firmantes de la Convención y 77 Partes Contratantes, incluyendo todos los países con centrales nucleares.

- Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.

También se enuncia la normativa más relevante que se aplica al transporte de los residuos radiológicos:

- Real Decreto 2017/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el procedimiento de liquidación de los costes de transporte, distribución y comercialización a tarifa, de los costes permanentes del sistema y de los costes de diversificación y seguridad de abastecimiento sobre los Costes de Transición a la Competencia.
- Real Decreto 35/2008 (BOE: 18.02.2008), por el que se modifica el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas aprobado por Real Decreto 1836/99, de 3 de Diciembre.
- Real Decreto 97/2014, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español.
- Acuerdo europeo sobre transporte de mercancías peligrosas por carretera (ADR).
- Real Decreto 412/2001, sobre transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril.
- Reglamento relativo al transporte Internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril (RID).
- Código Marítimo Internacional de mercancías peligrosas (IMDG).
- Instrucciones Técnicas para el Transporte sin riesgos de Mercancías Peligrosas por vía aérea (OACI), aprobadas mediante RD 1749/1984, de 1 de agosto y modificado por Orden FOM/3553/2011 de 5 de diciembre.
- Real Decreto 243/2009, de 27 de febrero, por el que se regula la vigilancia y control de traslados de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado entre Estados miembros o procedentes o con destino al exterior de la Comunidad.

Fuente. Elaboración propia

**ANEXO II. METODOLOGÍA INPUT OUTPUT PARA LA
ESTIMACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO**

1. La metodología input output para el cálculo del impacto económico

Una tabla input-output (TIO) es una base estadística que recoge las actividades económicas y las interrelaciones entre los distintos sectores que integran la estructura productiva de un país o región. Disponer de estos datos permite realizar un análisis detallado de la dimensión de los sectores de actividad de una economía, en nuestro trabajo nos permite desagregar el sector eléctrico en ocho subsectores con el fin de poder analizar las distintas tecnologías de generación eléctrica. También nos permite medir el impacto en términos de producción, en términos de valor añadido bruto (VAB) y en términos de empleo, de determinadas políticas de inversión en los diferentes sectores productivos que componen la economía analizada. La principal ventaja de la metodología basada en tablas input-output es que estas permiten recoger el efecto multiplicador de los distintos sectores que se interrelacionan en una determinada región.

La modelización con TIO tiene sus orígenes en los trabajos de Leontief (1936, 1941) y ha sido utilizada ampliamente durante las últimas décadas, destacando por su carácter metodológico los trabajos de Lahr and Dietzenbacher (2001) y Miller and Blair (2009). Esta metodología permite analizar el efecto de un impacto económico desde la demanda final (puede ser a través del consumo, de la inversión o de las exportaciones) en cada uno de los sectores que componen la economía.

Un modelo input-output consiste básicamente en un sistema de ecuaciones lineales, cada una de las cuales describe la distribución de los productos de una industria en toda la economía. Estos modelos son modelos multisectoriales lineales en los que los sectores productivos se expresan como funciones lineales del vector de demanda. Por lo tanto, la producción total de cualquier sector puede expresarse como la suma de las transacciones con el resto de sectores y las transacciones a través de la demanda final. De este modo se obtiene la siguiente ecuación matricial:

$$X = A \cdot X + D$$

siendo D una matriz de orden $n \times 1$ (n es el número de sectores productivos) que contiene la demanda final, X una matriz de orden $n \times 1$ formada por el output total de los sectores y A una matriz de orden $n \times n$ formada por las propensiones medias al gasto de los sectores productivos (matriz de coeficientes técnicos).

Resolviendo la ecuación:

$$X = (I - A)^{-1} \cdot D$$

Donde $(I - A)^{-1}$ es la matriz inversa de Leontief. Cada elemento c_{ij} de la matriz inversa muestra el cambio en el output del sector i si el sector j recibe una unidad

monetaria adicional desde la demanda final. El vector resultante X es la matriz que indica el grado en que una inyección exógena en el sistema afecta a los ingresos totales de los sectores.

La expresión $(I - A)^{-1}$ incluye todos los impactos en la producción cuando se produce una modificación de la demanda final. Un aumento de la demanda final en un sector generará un aumento en su producción para cubrir la nueva demanda, lo que a su vez hará que dicho sector aumente sus compras al resto de sectores, y así sucesivamente.

Para obtener los efectos económicos, tanto directos como indirectos e inducidos, sobre la economía española de las medidas económicas necesarias para el cambio propuesto en el sector eléctrico, se parte de la expresión anterior y, cualquier variación en los ingresos de los sectores (debido a una variación de su demanda final) se verá reflejada en una variación del vector de producción como describe la siguiente ecuación:

$$\Delta X = (I - A)^{-1} \cdot \Delta D$$

Se llama impacto directo al impacto sobre las ramas de actividad que han sido receptoras directas de los cambios en la demanda final e impacto indirecto, a los cambios experimentados por el resto de ramas de actividad que no han visto modificada su demanda final.

Este modelo asume que todos los componentes de la demanda final (consumo, formación bruta de capital y exportaciones) son exógenos. No obstante, los consumidores reciben renta como retribución a sus dotaciones de capital y trabajo, renta que gastarán en la adquisición de bienes y servicios. Para reflejar el impacto de los cambios en la renta de los consumidores (el llamado impacto inducido) podemos extender el modelo anterior pasando el consumo de los hogares desde la demanda final a la matriz de coeficientes técnicos (endogeneización del consumo).

Para ello se hace necesario construir una nueva matriz de coeficientes técnicos en la que además de las transacciones intersectoriales se incluya al sector de las economías domésticas como si se tratara de otro sector productivo. Se añade por tanto una columna que representa el consumo de cada sector i por unidad de renta y una fila que representa la renta doméstica directamente generada al obtener una unidad del sector j .

De este modo podemos obtener el impacto total de determinadas medidas económicas como suma de los impactos directos, indirectos e inducidos.

Las variaciones en la producción de los distintos sectores provocan a su vez variaciones en el empleo de todas las ramas de actividad. Para obtener el impacto

sobre el empleo se calculan los coeficientes de empleo por rama (empleo por unidad de producción) y se construye una matriz diagonal que se incluye en la ecuación anterior:

$$\Delta EMP = \text{diag}(E_i / x_i) \cdot (I - A)^{-1} \cdot \Delta D$$

Donde ΔEMP muestra el crecimiento o decrecimiento en el empleo debido a un cambio en la demanda final.

Así mismo, los cambios en la producción provocan cambios en el VAB de las diferentes ramas de actividad, que podemos calcular del mismo modo, utilizando los coeficientes de VAB (VAB por unidad de producción):

$$\Delta VAB = \text{diag}(VAB_i / x_i) \cdot (I - B)^{-1} \cdot \Delta D$$

Siendo ΔVAB la variación en el VAB provocada por un cambio en la demanda final.

2. Actualización de la Tabla Input-Output

Para el desarrollo de este trabajo se ha considerado oportuno utilizar los datos más recientes de contabilidad nacional publicados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), que en el momento de iniciar el trabajo eran los datos del año 2014.

Para ello se tomó la última tabla input-output simétrica publicada por el INE referida al año 2010 y se actualizó al año 2014. Una primera fase de la actualización se realizó utilizando la información económica disponible relativa al año 2014 (producción, VAB, importaciones, exportaciones, gasto en consumo final, impuestos,...).

La segunda fase de la actualización consistió en obtener la matriz de consumos intermedios, núcleo del modelo *input-output* de Leontief que se ha utilizado en las modelizaciones. A partir de la tabla *input-output* simétrica del año 2010, esta matriz de consumos intermedios se obtiene mediante un método iterativo de aproximación conocido en la literatura especializada como método RAS (Bacharat, 1970).

Al tener que ajustar tanto las filas como las columnas, aparece el problema de la biproporcionalidad. El método RAS es un método biproporcional en el que cada rama de actividad está caracterizada por dos multiplicadores, uno de sustitución y uno de fabricación (r y s) con los que se asume que las variaciones operan uniformemente sobre las filas y las columnas de la matriz. De forma que de la aplicación de estos coeficientes a la matriz original (A_0) de coeficientes técnicos resulta una segunda matriz estimada (A_1), cuyos elementos son consistentes con los valores observados de *inputs* y *outputs* intermedios de cada rama de actividad en el año de la actualización.

Cuando r y s son aplicados simultáneamente sobre A_0 obtenemos $A_1 = \hat{r} A_0 \hat{s}$, expresión matemática de la operación matricial que da nombre al método⁵⁹.

3. Desagregación de la Tabla Input-Output

Como ya se ha señalado, se han elegido las tablas *input-output* como fuente básica para la estimación de las macromagnitudes de las distintas tecnologías que componen el sector eléctrico. Pero el principal obstáculo para la aproximación a estas actividades es que las TIO no recogen información particularizada para estas energías, sino que toda la producción de energía eléctrica se presenta, junto al transporte y la distribución de la misma, en una única rama.

Por ello, además de la actualización de la TIO 2010 al año 2014, descrita en el apartado previo, se ha procedido también a la desagregación del sector unitario de energía eléctrica en ocho subsectores diferentes; siete subsectores para la producción de energía eléctrica:

1. Con fuentes convencionales
2. Eólica
3. Solar fotovoltaica y térmica
4. Solar termoeléctrica
5. Energía de la biomasa
6. Geotérmica
7. Minihidráulica

Y un subsector de transporte y distribución de la misma.

La construcción de las distintas columnas, que refleja a modo esquemático cómo cada fuente de energía organiza recursos en torno a su proceso de producción, exige identificar y cuantificar las interrelaciones de cada subsector con sus principales ramas proveedoras de bienes y servicios. Este análisis de interrelaciones se ha realizado a partir de distintos trabajos previos, principalmente de IDAE (2011), aunque la revisión documental realizada para este trabajo ha sido mucho más amplia (ver referencias bibliográficas).

En una tabla *input-output*, en las filas se representan los ingresos obtenidos por la rama de actividad en cuestión, tanto debido a las compras que le hacen el resto de ramas de actividad (consumos intermedios) como debido al consumo final de los sectores institucionales (consumo privado y público), a la formación bruta de capital y a las exportaciones. En el caso de las ramas del sector eléctrico, para construir las filas de las distintas tecnologías, se ha utilizado la siguiente información:

⁵⁹ Para un desarrollo más detallado del método RAS puede consultarse el artículo de Robles y Sanjuán (2005).

Energía eólica y solar: toda la energía final que se consume procede de su contribución al mix eléctrico, por lo que se obtienen de la primitiva fila de la tabla que recogía a todo el sector eléctrico.

Energía de la biomasa: una parte de su consumo proviene de su aportación al mix eléctrico (8,6%), el resto es consumo final de biomasa; la información sobre qué sectores económicos consumen biomasa se ha obtenido de IDAE 2011 (balance del consumo de energía final).

Igualmente, la energía geotérmica tiene una parte de consumo final propio. La geotermia se usa para calefacción y suministro de agua caliente en edificios de balnearios, para calefacción de otros tipos de edificios (viviendas, colegios) y para calefacción de recintos agrícolas (invernaderos). En consecuencia, se ha distribuido su consumo final entre los sectores correspondientes.

4. Aproximación al tipo de empleo creado

Atendiendo a la información disponible sobre cómo las distintas ramas de actividad distribuyen su empleo por niveles de estudios, se ha desagregado el empleo creado o destruido por cada rama por esta característica. La información de la estructura educativa del empleo sectorial procede de la EPA.

Para ello se ha construido una matriz de distribución del empleo por nivel de estudios, $EST_{n \times 3}$ (siendo n el número de ramas de actividad), para distribuir la variación en el empleo de cada una de las ramas de actividad en tres niveles de estudios.

Premultiplicando dicha matriz por una matriz $EMP_{n \times n}$ que contiene el vector de variación en el empleo diagonalizado, obtenemos la desagregación del empleo creado o destruido por niveles de estudios.

**ANEXO III. IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL
DESMANTELAMIENTO DE LA CENTRAL NUCLEAR DE JOSÉ
CABRERA**

La Central Nuclear de José Cabrera, conocida habitualmente por la Central Nuclear de Zorita en referencia al municipio en el que se situaba (Almonacid de Zorita – Guadalajara), fue la primera central construida en España, iniciando su actividad en agosto del año 1969.

La central constaba de un Sistema Nuclear de Generación de Vapor formado por un único reactor de agua ligera a presión y un circuito cerrado de refrigeración del mismo, un grupo turbina-alternador, y todos los Sistemas Auxiliares y de Seguridad necesarios para el funcionamiento de la instalación en condiciones seguras⁶⁰.

Al llegar al fin de su ciclo de funcionamiento, se declaró su cese definitivo a propuesta de la Dirección General de Política Energética y Minas, y de acuerdo con el Consejo de Seguridad Nuclear, mediante la ORDEN ITC/1652/2006, de 20 de abril, por la que se declara el cese definitivo de la explotación de la Central Nuclear José Cabrera y se establecen las condiciones a las que deben ajustarse las actividades a realizar en la instalación hasta la autorización de desmantelamiento⁶¹.

La Central fue propiedad exclusiva de la compañía eléctrica Unión Fenosa Generación. No obstante, a partir de la fecha de cese, la Dirección General de Política Energética, a través de la citada Orden, dispuso la transferencia de la titularidad de la instalación, a realizar en un período de tres años, a ENRESA, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre), con el fin de ejecutar el proyecto de desmantelamiento y clausura de la citada Central.

En el momento en el que se produjo el cese de la Central Nuclear de José Cabrera, esta contaba aproximadamente con 121 personas en plantilla y otras 125 trabajadores/as pertenecientes a subcontratas⁶².

La mitad de la plantilla de la central, así como todos/as los/as empleados/as de subcontratas, permanecía en el año 2009 trabajando en la planta en las tareas de desmantelamiento. Los/as empleados/as restantes, salvo alguna excepción en la que se optó por la jubilación voluntaria, fueron reubicados/as en otros puestos de la antigua empresa propietaria. En las labores de desmantelamiento se emplearon 250 personas diariamente entre los años 2010-2013, el 66% de las cuales son de la provincia de Guadalajara⁶³.

⁶⁰ http://energia-nuclear.net/centrales_nucleares/espana/central-nuclear-jose-cabrera.html

⁶¹ <http://www.boe.es/boe/dias/2006/05/30/pdfs/A20400-20401.pdf>

⁶² http://elpais.com/diario/2005/12/02/sociedad/1133478002_850215.html

⁶³ http://www.enresa.es/files/multimedios/zorita_memoria.pdf

Además, desde la Consejería de Trabajo y Empleo de Castilla-La Mancha se formalizó el compromiso de proporcionar formación a los/as trabajadores/as de la Central en nuevas ocupaciones que les permitiesen mantener sus puestos de trabajo durante el periodo de desmantelamiento de la planta, así como tras su cierre definitivo⁶⁴.

En cuanto al empleo indirecto que la central generaba, algunos artículos de prensa de la época en la que esta se encontraba operativa, cifraban en más del doble (unos 600) el número de puestos de trabajo indirectos⁶⁵.

En relación con el entorno próximo a la Central, es importante señalar su alta dependencia económica de la Central, especialmente del municipio de Almonacid de Zorita donde se ubicaba. A pesar de que la vida útil de una central se estima en unos cuarenta años, y su fecha de cierre es conocida, esta dependencia es uno de los principales problemas a los que se enfrentó y se enfrenta el entorno⁶⁶. De hecho para paliar esta situación, el Ayuntamiento impulsó un polígono industrial pero, en el año 2006, solamente había una empresa⁶⁷.

Con el objetivo de intentar minimizar el impacto del cierre sobre el entorno local, en el año 2006 se firmó el “Pacto por el Desarrollo de la zona de influencia de la central nuclear”⁶⁸, impulsado por la Junta de Castilla-La Mancha, junto con la Administración central y las diputaciones de Cuenca y Guadalajara, el cual fue firmado por los alcaldes de los municipios afectados, representantes de sindicatos y organizaciones empresariales y otras instituciones. El Pacto incluía, entre otras cuestiones, la constitución de una Mesa de seguimiento cuyas funciones era la propuesta, coordinación, impulso y supervisión de las actuaciones que se llevasen a cabo para el desarrollo de la región⁶⁹.

En el Pacto se recogía, también, el compromiso de destinar anualmente hasta dos millones de euros del presupuesto del Gobierno autonómico, cuya distribución se decidiría a través de una serie de propuestas que presentaran los municipios a través de una Mesa de Seguimiento.⁷⁰

⁶⁴ <http://www.lacronica.net/los-trabajadores-de-zorita-no-se-quedaran-en-el-paro-6708.htm>. No se ha podido comprobar si dicha formación fue, efectivamente proporcionada

⁶⁵ <http://www.elmundo.es/nuevaeconomia/99/NE005/NE005-08.html>

⁶⁶ http://elpais.com/diario/2006/04/30/sociedad/1146348001_850215.html

⁶⁷ Ídem

⁶⁸ <http://www.ecologistasenaccion.es/article7827.html>

⁶⁹ http://elpais.com/diario/2005/12/02/sociedad/1133478002_850215.html

⁷⁰ <http://www.castillalamancha.es/actualidad/notasdeprensa/el-gobierno-regional-ha-invertido-en-tres-a%C3%B1os-20-millones-de-euros-en-la-comarca-de-zorita-0>

Según la web institucional de Castilla-La Mancha, el Gobierno autonómico destinó entre los años 2006 y 2009 veinte millones de euros a la comarca y en el 2009 se habían presupuestado otros diez millones más. Según la misma fuente de información, en el primer año se financiaron distintos proyectos en 26 municipios de la zona dirigidos, fundamentalmente, a mejorar el entorno de toda la comarca, y otros ocho proyectos fueron aprobados por la Mesa en los dos años siguientes. Además, en el año 2006 se aprobaron también cuatro proyectos públicos: el Centro de Interpretación y Divulgación de la Energía en Albalate de Zorita; un camping público en Buendía; la rehabilitación de una vivienda de turismo rural en Valdeconcha y un Complejo Artesano en Zorita. En 2007 se presentaron 13 proyectos privados (fueron todos aprobados), los cuales contaron con un 20% de subvención por ubicarse en la zona. Asimismo, en la web institucional se afirma haber creado 34 nuevos puestos de trabajo en 2007 gracias a estas actuaciones.⁷¹⁷²

No obstante, hay también que señalar que el Pacto no estuvo exento de críticas desde sus inicios⁷³. Además, la llegada de la crisis económica parece haber ralentizado las actuaciones que se estaban llevando a cabo para impulsar la zona⁷⁴. De hecho, a partir del año 2009 las noticias sobre el desmantelamiento de la central se limitan a recoger las labores y actuaciones de carácter técnico y no se ha encontrado información, desde ese año, del estado de los proyectos planificados ni del impacto de estos sobre la población.

Aun así, parece que el compromiso de dotar a la zona de ayudas por valor de dos millones anuales procedentes de la Junta de Castilla-La Mancha sí se mantuvo para el período 2006-2015⁷⁵, así como las compensaciones económicas por parte de ENRESA mientras parte de los residuos sigan permaneciendo en el almacén de la central⁷⁶.

⁷¹ Ídem

⁷² <http://www.castillalamancha.es/actualidad/notasdeprensa/d%C3%ADaz-salazar-el-pacto-de-zorita-ha-sido-%C3%BAtil-ha-creado-34-empleos-y-ha-generado-una-inversi%C3%B3n-de-4%E2%80%993>

⁷³ http://www.soitu.es/soitu/2009/06/18/medioambiente/1245353638_838951.html

⁷⁴ <http://www.daphnia.es/revista/51/articulo/962/El-dia-despues>

⁷⁵ <http://www.tiempodehoy.com/espana/incertidumbre-posnuclear>

⁷⁶ <http://www.publico.es/ciencias/central-zorita-comienza-desmantelamiento.html>

<http://www.energiadiario.com/publicacion/enresa-asume-la-titularidad-de-zorita-para-desmantelarla/>

Relación de tablas

Tabla 1. Comparación entre metodologías de estimación de costes de desmantelamiento nuclear.....	15
Tabla 2. Prácticas de estimación de costes a nivel internacional según NEA, 2010	20
Tabla 3. Requerimientos administrativos y su impacto en la estimación de costes de desmantelamiento	30
Tabla 4. Lista de proyectos de desmantelamiento recientes en los EE.UU.	33
Tabla 5. Estimaciones de costes de desmantelamiento para distintos tipos de reactor. Millones de euros	36
Tabla 6. Estimación de costes de desmantelamiento para reactores PWR. Millones de USD y USD/kWe.....	37
Tabla 7. Estimación de costes de desmantelamiento para reactores BWR. Millones USD y USD/kWe.....	38
Tabla 8. Media y desviación estándar de los costes de desmantelamiento por tipo de reactor nuclear. USD/kWe.....	39
Tabla 9. Contribución media de los principales procesos al coste total del desmantelamiento. Detalle por tipo de reactor nuclear. Porcentaje sobre el total	39
Tabla 10. Contribución media de los principales partidas al coste total de desmantelamiento. Porcentaje sobre el total	40
Tabla 11. Impactos socioeconómicos del desmantelamiento e intervenciones adecuadas por tipo de agente.....	47
Tabla 12. Trabajos de impacto socioeconómico del desmantelamiento nuclear con información cuantitativa	50
Tabla 13. Estudios de caso de impacto socioeconómico analizados por IAEA, 2008	50
Tabla 14. Inversión llevada a cabo en el proceso de desmantelamiento de Vadellós I. Euros.....	56
Tabla 15. Metodologías de cálculo de las provisiones financieras en los países miembros de la UE (2007)	63
Tabla 16. Tipología de gestión de los fondos de desmantelamiento en los países miembros de la UE (2007)	65
Tabla 17. Estimación de costes de la gestión de los residuos radiactivos según el 6ºPGRR	67
Tabla 18. Comparativa entre la financiación disponible para el desmantelamiento y la gestión de los residuos radiactivos y la vida útil del parque de centrales nucleares en Europa. Año 2014	71
Tabla 19. Características del parque de centrales nucleares en España. Año 2016	74
Tabla 20. Producción de energía eléctrica actual y prevista para los Escenarios del año 2020. Gwh	76

Tabla 21. Escenario de prospectiva de Red Eléctrica para el año 2020	77
Tabla 22. Aumento de potencia instalada en energías renovables e inversiones requeridas. Millones de euros.	78
Tabla 23. Situación del parque de centrales nucleares en España. Año 2016	80
Tabla 24. Inventario de combustible irradiado y situación de las instalaciones de almacenamiento de las centrales nucleares españolas a finales del año 2014	81
Tabla 25. Residuos de alta y media actividad a almacenar de forma definitiva y requerimiento de nuevos ATIs en ausencia del ATC	83
Tabla 26. Cambio en la demanda final debido al nuevo modelo energético asociado al desmantelamiento nuclear. Millones de euros.....	85
Tabla 27. Impacto económico del cambio en la demanda final debido al nuevo modelo energético asociado al desmantelamiento nuclear. Millones de euros	86
Tabla 28. Inversiones requeridas para aumentar la potencia en fuentes renovables y destino de las mismas por ramas de actividad. Millones de euros	87
Tabla 29. Impacto económico de las inversiones necesarias para aumentar la potencia en fuentes renovables. Millones de euros.....	88
Tabla 30. Inversiones requeridas en el proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares y destino de las mismas por ramas de actividad. Millones de euros	90
Tabla 31. Impacto económico de las inversiones del proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares. Millones de euros.....	90
Tabla 32. Inversiones requeridas para el almacenamiento temporal de los Residuos radiactivos de alta actividad en las dos opciones contempladas. Destino de las mismas por ramas de actividad. Millones de euros.....	92
Tabla 33. Impacto económico de las inversiones requeridas para el almacenamiento temporal de los Residuos radiactivos de alta actividad en las dos opciones contempladas. Millones de euros.....	93
Tabla 34. Inversiones requeridas para el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalle en las dos opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos. Millones de euros.....	94
Tabla 35. Impacto económico de las actuaciones e inversiones requeridas para el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalle en las dos opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos. Millones de euros	95
Tabla 36. Impacto fiscal parcial del desmantelamiento nuclear. Detalle en las dos opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos. Millones de euros.....	98
Tabla 37. Reactores nucleares operativos en España. Características y estado.	111
Tabla 38. Fases de desmantelamiento de una central nuclear	116

Relación de gráficos

Gráfico 1. Costes de desmantelamiento de los 5 reactores Greifswald en Alemania	35
Gráfico 2. Fuentes de energía a las que se traslada la producción eléctrica nuclear. Año 2020. Porcentaje sobre el total de producción eléctrica	76
Gráfico 3. Impacto económico de las inversiones necesarias para aumentar la potencia en fuentes renovables por ramas de actividad (R-30). Millones de euros y número de empleos a TCE	88
Gráfico 4. Impacto económico de las inversiones en el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalles por ramas de actividad (R-30). Millones de euros y número de empleos a TCE	91
Gráfico 5. Impacto directo por ramas de actividad de las inversiones requeridas para el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalle en las dos opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos. Millones de euros	96
Gráfico 6. Distribución del empleo neto creado en el desmantelamiento de las centrales nucleares por niveles de estudios. Porcentaje sobre el total.....	97