

Cámara, Ángeles; Martínez, Maria Isabel; Rodríguez, Leila

Article

El impacto económico del desmantelamiento nuclear en España

Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa

Provided in Cooperation with:

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

Suggested Citation: Cámara, Ángeles; Martínez, Maria Isabel; Rodríguez, Leila (2018) : El impacto económico del desmantelamiento nuclear en España, Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, ISSN 1886-516X, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, Vol. 25, pp. 244-271

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/195406>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



UNIVERSIDAD
PABLO DE OLAVIDE
SEVILLA



REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA
ECONOMÍA Y LA EMPRESA (25). Páginas 244–271.
Junio de 2018. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2748

El impacto económico del desmantelamiento nuclear en España

CÁMARA, ÁNGELES

Departamento de Economía Financiera y Contabilidad e Idioma Moderno
Universidad Rey Juan Carlos (España)

Correo electrónico: angeles.camara@urjc.es

MARTÍNEZ, M.^a ISABEL

Abay Analistas Económicos (España)

Correo electrónico: mmartinez@abayanalistas.net

RODRÍGUEZ, LEILA

Abay Analistas Económicos (España)

Correo electrónico: lrodriguez@abayanalistas.net

RESUMEN

El proceso de desmantelamiento de una central nuclear conlleva una serie de actividades económicas, vinculadas a sectores económicos distintos del energético, que suponen una oportunidad de desarrollo económico, no solo para las comunidades locales en las que se emplaza la central, sino también para el resto de la sociedad. Actualmente, las centrales nucleares españolas tienen una vida operativa media de 33 años y en una década acabará su vida de diseño, por lo que es de interés conocer la repercusión económica que tendrá su desmantelamiento. Para ello, en el presente artículo, se desarrolla un modelo multisectorial con el que se analiza el impacto del proceso de desmantelamiento, que engloba tanto el cierre de las centrales, como la sustitución por otras fuentes energéticas y la gestión de los residuos radioactivos.

Palabras claves: desmantelamiento nuclear; impacto económico; modelo input-output.

Clasificación JEL: C67; Q43; Q53.

MSC2010: 93D25; 91B02; 91B50.

Artículo recibido el 19 de julio de 2017 y aceptado el 23 de octubre de 2017.

The Economic Impact of Nuclear Dismantlement in Spain

ABSTRACT

The process of dismantling a nuclear power plant involves a series of economic activities, linked to economic sectors other than energy, which represent an opportunity for economic development, not only for the local communities where the power plant is located, but also for the rest of the society. Currently, the Spanish nuclear power plants have an average operating life of 33 years and in a decade will end its design life, so it is of interest to know the economic impact that will have its dismantling. For this, in this paper a multisectorial model is developed with which the impact of the dismantling process is analyzed, which includes both the closure of the plants, as well as the substitution of other energy sources and the management of radioactive waste.

Keywords: Nuclear dismantling; economic impact; input-output model.

JEL classification: C67; Q43; Q53.

MSC2010: 93D25; 91B02; 91B50.



1. Introducción.

El cierre progresivo de las centrales nucleares en España es un hecho ineludible que trasciende al debate sobre cuáles serán las fuentes energéticas que utilicemos en el futuro, por lo que se hacen necesarios estudios en los que se aborde su planificación y el análisis de las implicaciones económicas y sociales que conllevará dicho cierre. Además del impacto en las comunidades locales donde las centrales nucleares se encuentran emplazadas, el proceso de desmantelamiento conlleva una serie de inversiones vinculadas a otros sectores económicos distintos del energético, que suponen una oportunidad de desarrollo económico que afecta no solo a las comunidades locales, sino que, en mayor o menor medida, repercute en toda la sociedad.

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, técnicas e incluso políticas 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 sociedad.

La información de la International Atomic Energy Agency nos dice que, hasta el año 2017, 164 reactores nucleares habían sido apagados en el mundo, de los cuales 94 en Europa y 34 en Estados Unidos. En el año 2025, un tercio de las plantas que se encuentran actualmente operando en Europa habrán cumplido su período de vida útil (tiempo durante el cual la instalación puede funcionar de forma segura y económicamente viable). 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 (duración mínima de las estructuras, sistemas y componentes de una planta, durante la cual se espera que la instalación funcione con plena seguridad) acabará entre los años 2020 y 2028, es de interés conocer qué repercusión económica puede tener el desmantelamiento de las instalaciones nucleares en España. Se analizará el proceso de desmantelamiento de las ocho centrales nucleares existentes en la actualidad, seis de ellas en funcionamiento y dos de ellas en proceso de desmantelamiento. Estas centrales nucleares generaron en el año 2016 el 21,4% de la producción de energía eléctrica total en España.

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, el análisis de su impacto mejora también la transparencia del sistema eléctrico nacional y enriquecen el debate público sobre el modelo energético futuro.

En este sentido, el objetivo principal de este artículo 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. Dichas modelizaciones se realizarán utilizando una metodología input-output, en concreto un modelo de demanda expresado en términos monetarios. Este modelo

multisectorial está basado en una Tabla Input-Output de la economía española, desagregada y actualizada para su utilización en las modelizaciones.

Para dar respuesta a estos objetivos, el artículo se ha organizado en cinco epígrafes. En el primero se realiza un análisis del estado de la cuestión en relación con la estimación de los costes del desmantelamiento nuclear, en el segundo se presenta la metodología utilizada en el análisis, en el tercero se detallan las fases que requiere el proceso de desmantelamiento, en los dos últimos se presentan los impactos macroeconómicos, tanto de cada una de las fases como del proceso global, y se finaliza con las principales conclusiones del análisis realizado.

2. Estudios de impacto socioeconómico del desmantelamiento nuclear.

En este epígrafe se realiza una revisión de los 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. Dentro de Europa, la International Atomic Energy Agency nos dice que son 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 reactores nucleares se han desmantelado o están en proceso de hacerlo después del final de las operaciones, siendo 30, 28 y 12 respectivamente en cada país (datos del año 2017). Por este motivo, es para estos países, junto con Estados Unidos, para los que se han realizado análisis económicos del desmantelamiento nuclear.

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, 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.

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.

Según LaGuardia (2012), 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 económico.

De forma complementaria al análisis de LaGuardia (2012), merece la pena destacar también la exposición que la International Atomic Energy Agency (IAEA, 2008) hace 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. 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 1).

Tabla 1. Estudios de caso de impacto socioeconómico analizados por IAEA

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

Fuente: IAEA (2008)

En la siguiente tabla (Tabla 2) se recogen algunos trabajos en los que se analiza el impacto socioeconómico del desmantelamiento nuclear y en los que se hace hincapié en el enfoque cuantitativo, en la línea del trabajo que aquí se presenta.

Tabla 2. Trabajos de impacto socioeconómico del desmantelamiento nuclear con información cuantitativa

País	Año	Autor	Título
EE. UU.	2013	Mc Cullough	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	Riener	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 Bernet	Social and Economic Aspects of the Decommissioning of Nuclear Installations

Fuente: Greenpeace (2016)

Desde un punto de vista más académico queremos destacar los siguientes artículos. Mullin y Kotval (1997) realizan un estudio de caso de los efectos locales del cierre de una planta de energía nuclear, destacando el papel que los gobiernos locales y estatales tienen para ayudar a las comunidades a realizar la transición a una economía no nuclear. Bond et al (2003) revisan el marco legislativo y de orientación para la evaluación del impacto ambiental de los proyectos de desmantelamiento de centrales nucleares, basándose en una amplia retroalimentación obtenida de 18 países y la Comisión Europea. Bond et al (2004) analizan tres experiencias de desmantelamiento (Alemania, España y Reino Unido) para tratar de identificar elementos de

buenas prácticas en cuanto a la evaluación del impacto ambiental. Wallbridge et al (2013) realizan un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) sobre el desmantelamiento en curso de una planta nuclear, para estimar los posibles impactos ambientales para los 11 reactores que deberán ser clausurados durante este siglo en el Reino Unido. Seier y Zimmermann (2014) también utilizan un ACV para analizar los impactos ambientales del desmantelamiento en curso de una central nuclear en Alemania. Haller (2014) analiza el impacto sobre la población local del desmantelamiento de una central en Estados Unidos, centrándose en los servicios públicos, el sistema escolar local y los medios de vida de los residentes. Y, por último, Bretschger y Zhang (2017) investigan las consecuencias económicas a largo plazo de la eliminación de la energía nuclear en Suiza en presencia de políticas climáticas rigurosas.

A nivel nacional disponemos de dos trabajos de análisis de impactos, el trabajo de Llop y Sardà (2005), que determinan el impacto económico asociado al proceso de desmantelamiento de la Central Vandellòs I, medido en términos de la renta global que generó sobre el territorio el cierre de la central; y el de Fuentes et al (2017), que determinan el impacto del desmantelamiento de la Central de Almaraz, medido en términos de empleo y generación de valor añadido.

3. Metodología utilizada en el análisis.

El impacto económico de los distintos escenarios se realiza a través de una modelización multisectorial, en concreto, un modelo de demanda expresado en términos monetarios. Previamente a la modelización se ha hecho necesario realizar una actualización al año 2014 de la última Tabla Input-Output (TIO) simétrica publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), y realizar una desagregación del sector eléctrico en ocho subsectores, siete subsectores para la producción de energía eléctrica y un subsector de transporte y distribución de la misma.

La modelización con TIO 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.

3.1. 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 INE, que en el momento de iniciar el trabajo eran los datos del año 2014. Para ello se tomó la última TIO 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 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 (Bacharach, 1970; Robles y San Juan, 2005).

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 $A_1 = \textcircled{R} A_0 \textcircled{S}$, expresión matemática de la operación matricial que da nombre al método

3.2. Desagregación de la Tabla Input-Output.

Para el desarrollo de este trabajo, es necesario disponer de información detallada sobre las distintas tecnologías que componen el sector eléctrico. Para ello se utilizan las tablas input output, 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 anteriormente, 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 (fuentes convencionales, eólica, solar fotovoltaica y térmica, solar termoeléctrica, biomas, geotérmica y 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).

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:

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.

3.3. Modelización multisectorial.

En una tabla input-output podemos distinguir la matriz de consumos intermedios, la matriz de factores primarios y la matriz de demanda final. Cada columna de la matriz de consumos intermedios nos muestra los productos intermedios empleados por cada rama productiva para desarrollar su actividad productiva. La matriz de demanda final desglosa en varias operaciones (consumo privado, consumo público, formación bruta de capital y exportaciones) el exceso de recursos de cada rama sobre la demanda intermedia realizada por todas las ramas. A partir de estas matrices se construye un modelo input-output en el que las demandas de factores son independientes de sus precios, los precios de los factores primarios son exógenos, la demanda final es también exógena y los precios de los productos son independientes de la estructura de la demanda.

El modelo input-output utilizado 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 de la matriz 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:

$$X_n = A_{nn} \cdot X_n + D_n \quad [1]$$

siendo D_n una matriz de orden $n \times 1$ (n es el número de sectores productivos) que contiene la demanda final, X_n una matriz de orden $n \times 1$ formada por el output total de los sectores y A_{nn} 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:

$$X_n = (I - A_{nn})^{-1} \cdot D_n \quad [2]$$

donde $(I - A_{nn})^{-1}$ 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. La matriz 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.

Partiendo de la ecuación matricial [2], cualquier variación en los ingresos de los sectores (debido a una variación de su demanda final) se verá reflejada en una variación de la matriz de producción como describe la siguiente ecuación:

$$\Delta X_n = (I - A_{nn})^{-1} \cdot \Delta D_n \quad [3]$$

La expresión $(I - A_{nn})^{-1}$ incluye los impactos directos e indirectos 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 (impacto directo), lo que a su vez hará que dicho sector aumente sus compras al resto de sectores (impacto indirecto).

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 (matriz A_{nn}) 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 (C_i/VAB) y una fila que representa la renta doméstica directamente generada al obtener una unidad del sector j (VAB_j/x_j). Esta nueva matriz de orden $(n+1) \times (n+1)$ nos permite obtener el impacto inducido.

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

Por tanto, el impacto macroeconómico se ha calculado a través de la desagregación en tres tipos de efectos o impactos:

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, las ramas de actividad que han sido receptoras directas de los cambios en la demanda final.

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”.

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”. Además del impacto en la producción, estos modelos nos permiten obtener el impacto sobre otras macromagnitudes como pueden ser el empleo y el valor añadido.

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, E_i/x_i (empleo por unidad de producción), y con estos coeficientes se construye una matriz diagonal que se incluye en la ecuación [3]:

$$\Delta EMP = diag(E_i / x_i) \cdot (I - A)^{-1} \cdot \Delta D \quad [4]$$

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_i/x_i (VAB por unidad de producción), e introduciéndolos en forma de matriz diagonal en la ecuación [3]:

$$\Delta VAB = diag(VAB_i / x_i) \cdot (I - A)^{-1} \cdot \Delta D \quad [5]$$

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

3.4. 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 Encuesta de Población Activa (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 $EMP_{n \times n}$, matriz cuadrada que se obtiene al diagonalizar la matriz ΔEMP , matriz obtenida en la ecuación [4], obtenemos la desagregación del empleo creado o destruido por niveles de estudios.

La matriz $EMP \cdot EST$ muestra la distribución del empleo creado entre los tres niveles de estudios considerados.

4. Fases del proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares.

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 los ya existentes como 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 epígrafe, 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.

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 3). 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 3. Características del parque de centrales nucleares en España. Año 2016

Nombre	Tipo reactor	Potencia (neta) MWe	Puesta en marcha (fecha)	Vida útil prevista (nº años)	Vida útil actual (nº años)	Año cese de explotación (real o previsto)
Vandellós 1	GCR	480	06/05/1972	-	-	1990
José Cabrera 1	PWR	160	07/14/1968	-	-	2006
Garroña	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

Como ya se ha señalado, en el marco de este trabajo 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 fases que se corresponden con distintos ámbitos de actuación vinculados al proceso de desmantelamiento:

- Trasvase de la producción de energía eléctrica nuclear a otras fuentes de energía.
- Incremento adicional de la potencia instalada en energías renovables para poder sustituir la producción eléctrica nuclear.
- Desmantelamiento de las centrales nucleares y restauración de sus emplazamientos
- 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. Hablamos de un periodo de unos 60 años, que es lo que establece el VI Plan General de Residuos Radiactivos como vida operativa del Almacén Temporal Centralizado propuesto.

A continuación, se detalla el contenido de las distintas fases.

4.1. La sustitución de energía nuclear por otras fuentes.

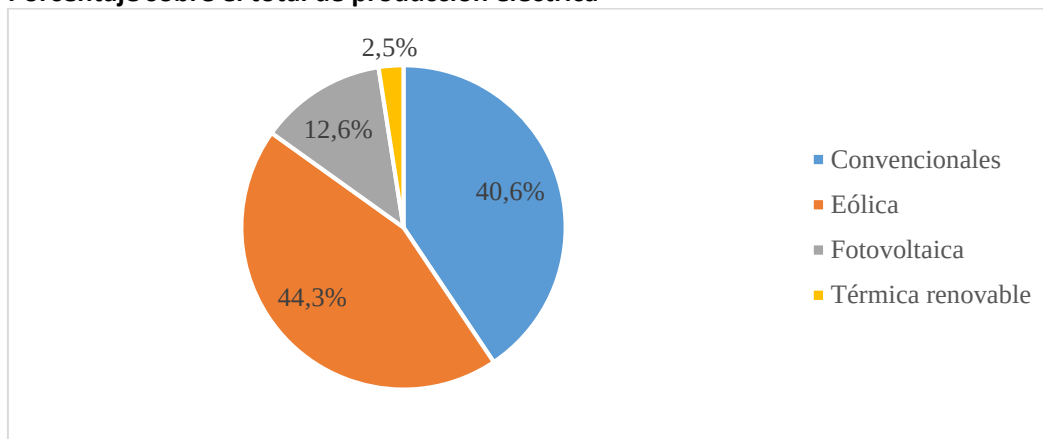
Dado que el período previsto de caducidad de las licencias de explotación de todas las centrales se sitúa entre los años 2019 y 2024, y en 2028 la última central cumplirá los 40 años de vida útil, será necesario ir sustituyendo de forma paulatina la energía nuclear por otras fuentes de energía. A partir del Escenario de prospectiva al año 2020 (MINETUR, 2015) del Ministerio de Industria, única planificación existente para la próxima década, se llevan a cabo las siguientes consideraciones:

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

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 1). 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.

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. 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 36,9% al 47,2%.

Gráfico 1. Fuentes de energía a las que se traslada la producción eléctrica nuclear. Año 2020. Porcentaje sobre el total de producción eléctrica



Fuente: Elaboración propia

4.2. 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. 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 (Tabla 4). 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).

Tabla 4. Aumento de potencia instalada en energías renovables e inversiones requeridas

	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

4.3. El desmantelamiento de las centrales nucleares.

El desmantelamiento nuclear es un hecho necesario e inevitable (European Parliament, 2013). 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 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 activos 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€ (Tabla 5). 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€.

Tabla 5. 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		108
José Cabrera	PWR	160	2006	Fase 2 (70%)	135	109
Garroña	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

4.4. 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 Nuclear (CSN, 2017) señala que, a fecha de diciembre de 2016, la mayor parte del combustible gastado está almacenado en las piscinas, aunque los ATIs ya construidos tienen una capacidad total de 3.081 elementos de combustibles irradiados. Esta capacidad de almacenamiento es aún reducida si se compara con los 19.571 elementos que habrá que gestionar cuando las centrales nucleares hayan acabado su vida útil (VI Plan General de Residuos Radiactivos).

En este trabajo 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 PGRR, 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. Considerando la capacidad de los ATIs que están contruidos a fecha de diciembre de 2014 (CSN, 2015), 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 tipo, considerando como tal el de Ascó. El término “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 centrales nucleares que están pendientes de desmantelamiento.

5. Impacto económico del desmantelamiento nuclear. Escenarios parciales.

En este epígrafe 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. Se cuantifican los cambios en la demanda agregada y sus impactos (directo, indirecto e inducido) para las distintas fases en las 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.

En 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.

5.1. 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 renovables. 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 6).

Tabla 6. Cambio en la demanda final debido al nuevo mix energético asociado al desmantelamiento nuclear

	Ramas del marco Input Output (R-30)	Demanda final (M€)
16	Energías convencionales	-5.783,00
17	Eólica	4.311,55
18	Solar fotovoltaica	1.231,13
20	Energía de la biomasa	239,98
	TOTAL	0,0

Fuente: Elaboración propia

El impacto sobre el empleo de dicho escenario se concreta en la pérdida de unos 6.800 empleos a Tiempo Completo Equivalente (TCE). La medición de los empleos a Tiempo Completo Equivalente establece equivalencias para los empleos a jornada parcial y los convierte en empleos a jornada completa. Por ejemplo, dos trabajadores a media jornada (4 horas diarias) se computan como un solo trabajador a TCE).

De estos empleos, 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 7). 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 los efectos 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 7. Impacto económico del cambio en la demanda final debido al nuevo modelo energético asociado al desmantelamiento nuclear

	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

5.2. 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-62) 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 8).

Tabla 8. Inversiones requeridas para aumentar la potencia en fuentes renovables y destino de las mismas por ramas de actividad.

	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

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 9). 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 TCE, que se harían realidad a lo largo del período en el que se ejecuten 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.

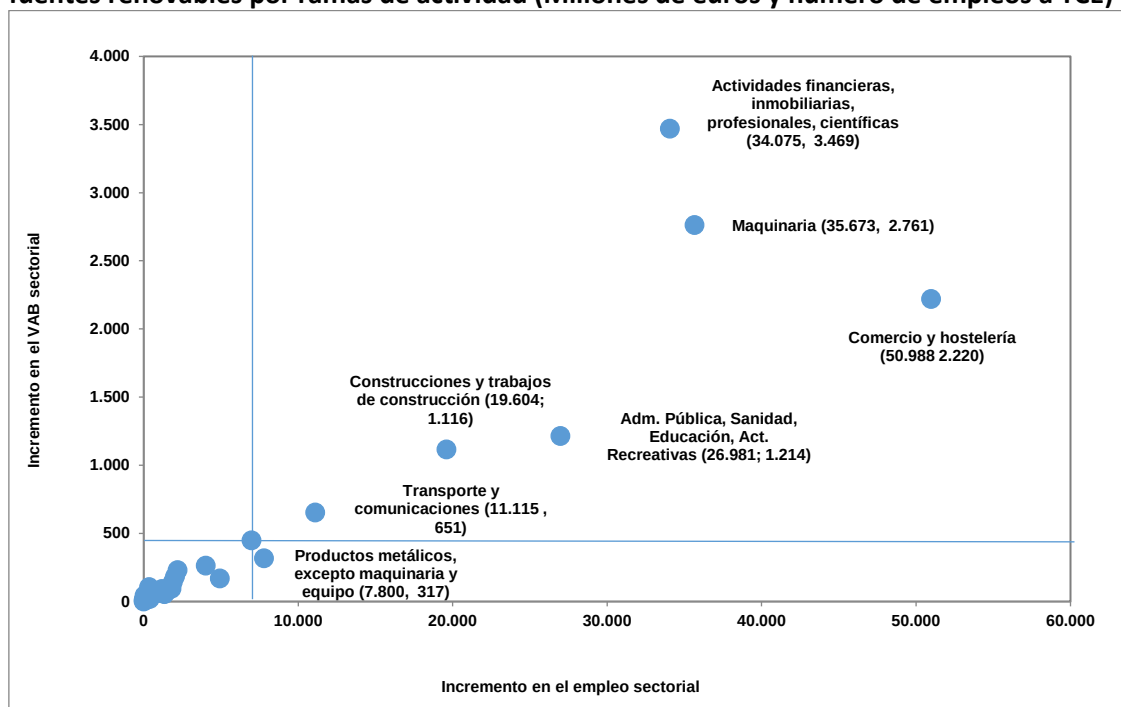
Tabla 9. Impacto económico de las inversiones necesarias para aumentar la potencia en fuentes renovables

	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 2).

Gráfico 2. Impacto económico de las inversiones necesarias para aumentar la potencia en fuentes renovables por ramas de actividad (Millones de euros y número de empleos a TCE)



Fuente: Elaboración propia

5.3. 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 Cabrera. 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 10). 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, recibirán en torno a 460 M€ y las ramas de Fabricación de productos metálicos; Maquinaria y equipo mecánico y Seguros tendrán también una asignación significativa de unos 123, 103 M€ y 79 M€ respectivamente.

Tabla 10. Inversiones requeridas en el proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares y destino de las mismas por ramas de actividad.

	Ramas del marco Input Output (R-62)	Inversión	
		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

El impacto económico de las inversiones se concreta en un incremento del VAB de 5.614 M€ (Tabla 11). 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).

Tabla 11. Impacto económico de las inversiones del proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares

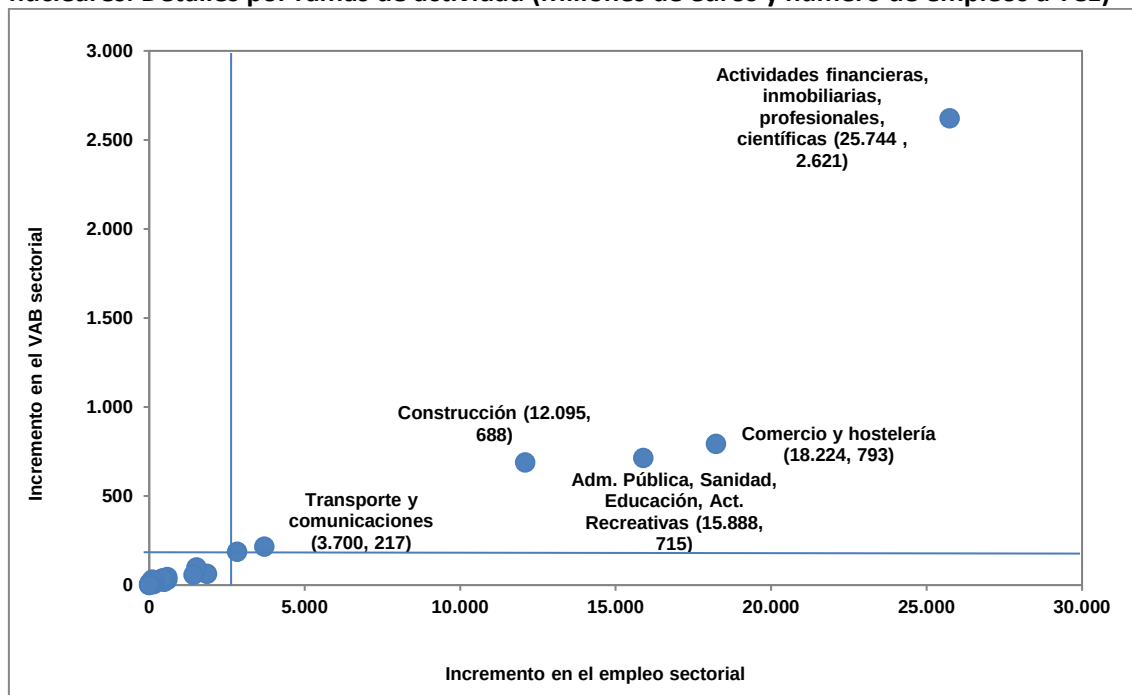
	Impacto directo e indirecto	Impacto inducido	Impacto total
Variación en la Producción agregada (Millones de €)	6.359	5.027	11.386
Variación en el Valor Añadido Bruto (Millones de €)	3.207	2.407	5.614
Variación del empleo (Nº de empleos a TCE)	44.453	40.387	84.840

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 3).

Gráfico 3. Impacto económico de las inversiones en el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalles por ramas de actividad (Millones de euros y número de empleos a TCE)



Fuente: Elaboración propia

5.4. La gestión de los residuos radiactivos.

Como ya se ha comentado en el escenario técnico, en este artículo se contemplan dos escenarios alternativos en relación con la gestión de los Residuos de Alta Actividad. 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 ATC, 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€ (Tabla 12).

Respecto a las 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 12. 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.

	Ramas del marco Input Output (R-62)	ATC		ATIs	
		Millones €	%	Millones €	%
25	Fabricación de cemento, cal y yeso	188,3	15,3%	93,2	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	1232,2	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 13). En el caso del ATC, se estima que la creación de empleo directo, indirecto e inducido, alcanzaría los 21.852 empleos a TCE 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€.

Tabla 13. Impacto económico de las inversiones requeridas para el almacenamiento temporal de los Residuos radiactivos de alta actividad en las dos opciones contempladas

	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.

6. Impacto económico global del desmantelamiento nuclear.

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.

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 14). 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 14. Inversiones requeridas para el desmantelamiento de las centrales nucleares. Detalle en las dos opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos

	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 15). 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.

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 4).

Tabla 15. Impacto 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.

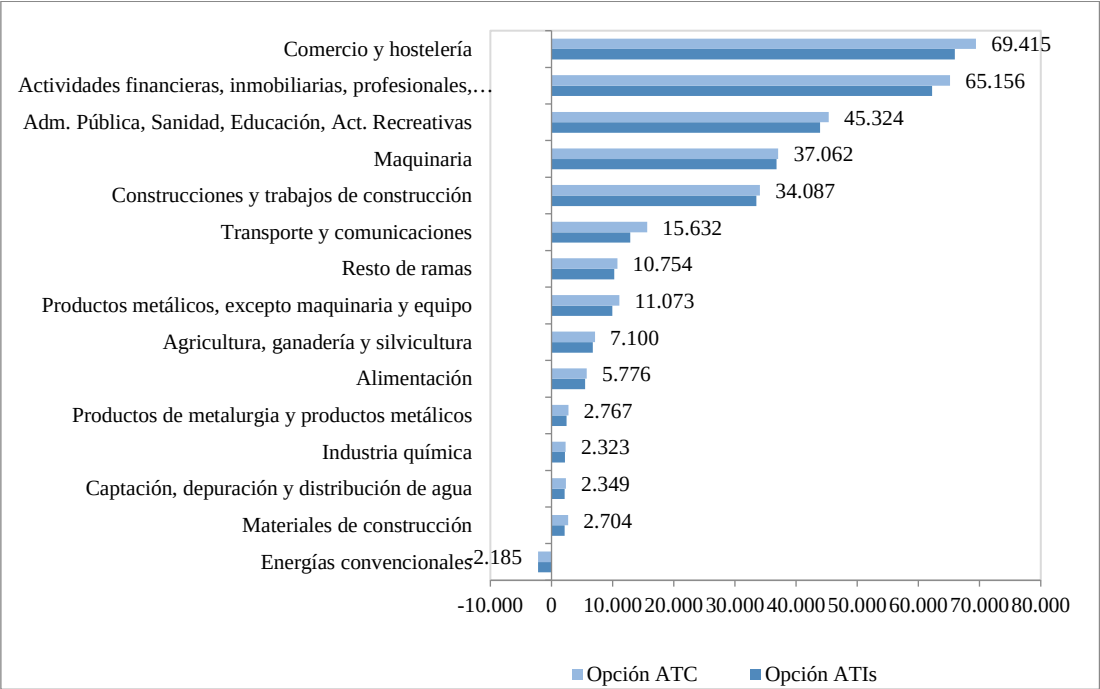
	Trasvase de producción nuclear a otras fuentes	Aumento potencia en energía renovable	Desmantelamiento de las centrales nucleares	Almacenamiento temporal de los residuos		Total	
				Opción ATIs	Opción ATC	Opción ATIs	Opción ATC
Variación del empleo (Nº de empleos a TCE)							
Impactos directo e indirecto	-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

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.

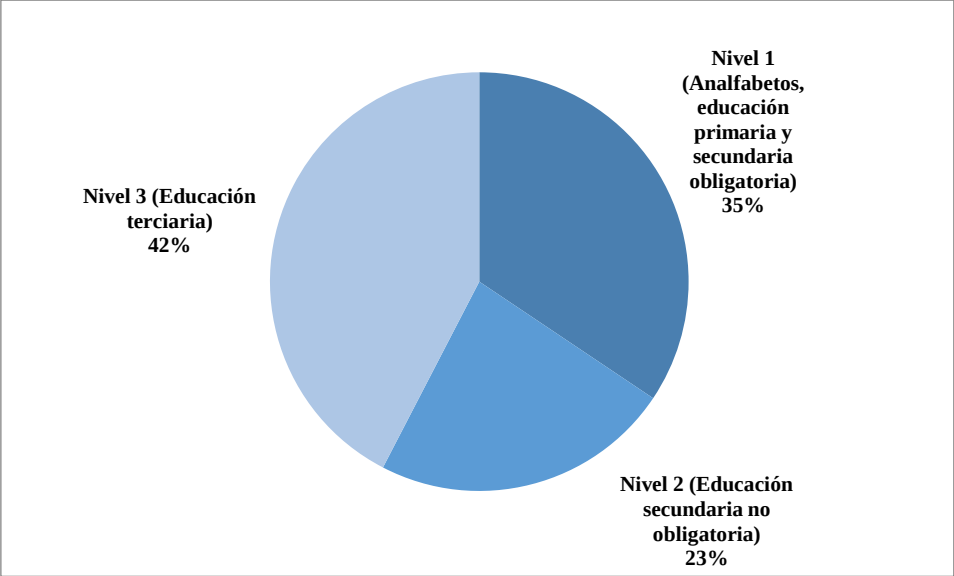
Atendiendo a la demanda de cualificación de los distintos sectores, cabe señalar que el 42% del empleo neto creado por el proceso de desmantelamiento de las centrales nucleares será empleo de alta cualificación (universitario y/o con estudios de postgrado) (Gráfico 5). Este empleo se creará, principalmente, 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 4. Impacto en el empleo 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



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Distribución del empleo neto creado en el desmantelamiento de las centrales nucleares por niveles de estudios. Porcentaje sobre el total



Fuente: Elaboración propia

Para obtener el impacto fiscal en impuestos netos sobre los productos y otros impuestos netos sobre la producción, así como en las cotizaciones a la Seguridad Social, se ha procedido de la siguiente forma: a partir de la información de la TIO se han calculado los tipos medios efectivos por rama de actividad (tanto por uno de la producción de cada rama que va a cada grupo de

impuestos de interés) y ese valor unitario se ha multiplicado por los incrementos de producción esperados en cada una de las ramas en los dos escenarios contemplados.

$$\Delta Inp = \sum_{i=1}^{30} \Delta Inpi, \text{ siendo } \Delta Inpi = \frac{Inpi}{Yi} * \Delta Yi$$

$$\Delta Oinp = \sum_{i=1}^{30} \Delta Oinpi, \text{ siendo } \Delta Oinpi = \frac{Oinpi}{Yi} * \Delta Yi$$

Los resultados obtenidos se resumen en los puntos siguientes (Tabla 16):

- Los impuestos netos sobre los productos (impuestos sobre los productos que se pagan por cada unidad producida o distribuida de un determinado bien o servicio menos las subvenciones a la explotación) 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 Impuesto sobre Actividades Económicas e Impuesto sobre Bienes Inmuebles) 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.

La recaudación por IRPF no se contempla, ya que dicha información no está incluida en el marco input-output y requeriría de un trabajo específico en el ámbito de la fiscalidad.

Tabla 16. Impacto fiscal del desmantelamiento nuclear. Detalle en las dos opciones contempladas en la gestión temporal de los residuos (Millones de euros)

	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

7. Conclusiones.

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 de diseño. 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.

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 alta actividad, procedentes tanto de la actividad de las centrales durante su vida útil como del propio proceso de desmantelamiento.

El impacto económico 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 es la actuación más importante en términos financieros, en torno a 17.200 M€ (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 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 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€.

Partiendo de la base de que existen otros escenarios posibles, en los que se podrían utilizar otras fuentes de energía distintas de las renovables, el presente artículo se decanta por la sustitución por renovables por congruencia con el Acuerdo del Clima de París. Los resultados obtenidos en este artículo ponen de manifiesto que el desmantelamiento nuclear que se va a efectuar a lo largo de la próxima década no sólo tendría un claro impacto en términos ambientales y de seguridad, sino que, además, puede suponer un importante incentivo para la economía española. Con las hipótesis planteadas en el escenario técnico, el cierre de las plantas nucleares aceleraría el tránsito hacia un modelo energético más sostenible, con una

mayor participación de las energías renovables. Todo ello, implicaría un importante volumen de inversiones destinadas a la instalación de nueva potencia que, junto a las actividades propias del desmantelamiento, dinamizarían algunos sectores industriales y de servicios y contribuirían a una importante creación de empleo, tanto de alta como de baja cualificación.

Agradecimientos

La autora A. Cámara agradece el apoyo del proyecto ECO2016-75204-P (AEI/FEDER, UE).

Referencias

Bacharach, M. (1970). *Biproportional Matrices & Input-Output Change*, University of Cambridge Department of Applied Economics Monographs.

Bretschger, L., & Zhang, L. (2017). Nuclear Phase-out Under Stringent Climate Policies: A Dynamic Macroeconomic Analysis. *Energy Journal*, 38(1).

Barcelo Vernet, J. (2003). Social and economic aspects of the decommissioning of nuclear installations. In *Safe Decommissioning for Nuclear Activities (Proc. Int. Conf. Berlin, 2002)*, IAEA, Vienna (pp. 403-410).

Bond, A., Bussell, M., O'Sullivan, P., & Palerm, J. (2003). Environmental impact assessment and the decommissioning of nuclear power plants—a review and suggestion for a best practicable approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 23(2), 197-217.

Bond, A., Palerm, J., & Haigh, P. (2004). Public participation in EIA of nuclear power plant decommissioning projects: a case study analysis. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(6), 617-641.

Consejo de Seguridad Nuclear (2017). Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado, 2016.

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

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

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

Fuentes-Saguar, P. D., Vega-Cervera, J. A., & Cardenete, M. A. (2017). Socio-economic impact of a nuclear power plant: Almaraz (Spain). *Applied Economics*, 1-11.

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

Greenpeace (2016). El impacto económico del desmantelamiento nuclear en España.

Haller, M. (2014). The socio-economic effects of decommissioning on local communities: A media framing analysis of the experience of Wiscasset, Maine. *Middle States Geographer*, 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 (2008). Managing the Socioeconomic Impact of the Decommissioning of Nuclear Facilities, Technical Report Series, 464.

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.

LaGuardia, T. S. (2012). Financing and Economics of Nuclear Facility Decommissioning, capítulo 4 en Michele Laraia (Ed.), *Nuclear Decommissioning: Planning, Execution and International Experience*, Elsevier.

Lahr, M. L., & Dietzenbacher, E. (Eds.). (2001). *Input-output analysis: Frontiers and extensions*. Palgrave.

Llop, M., & Sardà, J. (2005). Impacto económico del desmantelamiento de la central nuclear Vandellós I. Enresa Publicación técnica 08/2005.

McCullough 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 extensions*. Cambridge University Press.

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

Mullin, J. R. & Kotval, Z (1997). The closing of the Yankee Rowe nuclear power plant: The impact on a New England community. *Journal of the American Planning Association*, 63(4), 454-468.

Red Eléctrica de España (2016). Informe del Sistema Eléctrico Español 2015.

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*, 47(158), 143-177.

Seier, M., & Zimmermann, T. (2014). Environmental impacts of decommissioning nuclear power plants: methodical challenges, case study, and implications. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(12), 1919-1932.

Wallbridge, S., Banford, A., & Azapagic, A. (2013). Life cycle environmental impacts of decommissioning Magnox nuclear power plants in the UK. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(5), 990-1008.