



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

APLICACIÓN DE LA POLÍTICA INDUSTRIAL Y TECNOLÓGICA A LA ENERGÍA NUCLEAR COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA.

Alumno: Rafael González Pascual

Tutor: Prof. D. Manuel Herrera Torrero

Dpto: Organización de Empresas, Marketing y
Sociología



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Departamento de Organización de Empresas, Marketing y Sociología.

Don Manuel Herrera Torrero , tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: Aplicación de la Política Industrial y Tecnológica a la Energía Nuclear como Fuente de Energía Eléctrica en España, que presenta Rafael González Pascual, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Julio de 2021

El alumno:

Los tutores:

Rafael González Pascual

Manuel Herrera Torrero

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. LA ENERGÍA NUCLEAR COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	6
2.1. ¿QUÉ ES LA ENERGÍA NUCLEAR?.....	6
2.2. ¿CÓMO FUNCIONA UNA CENTRAL NUCLEAR?.....	8
3. DESARROLLO DEL SECTOR HASTA LA FECHA.....	14
3.1. HISTORIA DE LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS.	14
4. ANÁLISIS PESTEL.	17
4.1. ANÁLISIS POLÍTICO.	17
4.1.1. <i>Evolución de las medidas políticas sobre las centrales nucleares en España. .</i>	<i>17</i>
4.1.2. <i>Evolución de las medidas políticas sobre los residuos radiactivos en España. .</i>	<i>20</i>
4.2. ANÁLISIS ECONÓMICO.	24
4.2.1. <i>Entorno microeconómico. Mercado eléctrico español.</i>	<i>24</i>
4.2.2. <i>Entorno microeconómico. Demanda y producción de energía eléctrica.</i>	<i>28</i>
4.2.3. <i>Entorno macroeconómico.</i>	<i>32</i>
4.2.4. <i>La energía nuclear y su repercusión en la economía futura.</i>	<i>36</i>
4.2.5. <i>Industria auxiliar relacionada con las centrales nucleares.</i>	<i>37</i>
4.3. ANÁLISIS SOCIAL.	39
4.3.1. <i>Encuestas sobre la percepción de la energía nuclear en España.</i>	<i>40</i>
4.3.2. <i>Influencia de las asociaciones ecologistas y las noticias falsas.</i>	<i>48</i>
4.4. ANÁLISIS TECNOLÓGICO.	51
4.4.1. <i>Los avances extraídos de los accidentes en las centrales nucleares.</i>	<i>52</i>
4.4.2. <i>Reactores nucleares de cuarta generación.</i>	<i>57</i>
4.4.3. <i>Reactores de fusión nuclear.</i>	<i>59</i>
4.5. ANÁLISIS ECOLÓGICO.	62
4.5.1. <i>Residuos radiactivos generados por las centrales nucleares.</i>	<i>62</i>
4.5.2. <i>Almacenamiento de los residuos radiactivos.</i>	<i>64</i>
4.5.3. <i>Reciclaje de los residuos procedentes del combustible nuclear.</i>	<i>68</i>
4.5.4. <i>Energía nuclear y el cambio climático.</i>	<i>71</i>
5. ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA.....	74
5.1. LAS CINCO FUERZAS DE PORTER.	74
5.1.1. <i>Poder de negociación del cliente.</i>	<i>76</i>
5.1.2. <i>Poder de negociación del proveedor.</i>	<i>77</i>
5.1.3. <i>Amenaza de nuevos competidores.</i>	<i>78</i>
5.1.4. <i>Amenaza de productos o servicios sustitutivos.</i>	<i>80</i>
5.1.5. <i>Rivalidad entre competidores existentes.</i>	<i>81</i>
5.2. LAS SEIS BARRERAS DE ENTRADA DE PORTER.	82

5.2.1.	<i>Economías de escala.</i>	82
5.2.2.	<i>Diferenciación del producto.</i>	83
5.2.3.	<i>Inversiones de capital.</i>	83
5.2.4.	<i>Desventaja en costos independientemente de las escalas.</i>	85
5.2.5.	<i>Acceso a los canales de distribución.</i>	86
5.2.6.	<i>Política gubernamental.</i>	86
6.	ANÁLISIS DAFO.	87
7.	PROPUESTAS PARA MEJORAR EL SECTOR ENERGÉTICO NUCLEAR.	90
7.1.	EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES.	90
7.2.	PROGRAMAS QUE IMPLANTAR.	91
7.3.	IMPLICACIÓN DE LOS ACTORES NECESARIOS.	102
7.4.	MEDICIÓN DE LOS RESULTADOS.	103
8.	CONCLUSIÓN.	104
9.	BIBLIOGRAFÍA.	106

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

ILUSTRACIÓN 1.	REACCIÓN NUCLEAR EN CADENA.	9
ILUSTRACIÓN 2.	DISPOSICIÓN DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR.	11
ILUSTRACIÓN 3.	ESQUEMA DEL CIRCUITO DE UNA CENTRAL NUCLEAR PWR.	12
ILUSTRACIÓN 4.	APORTACIÓN AL PIB DE LA INDUSTRIA NUCLEAR.	33
ILUSTRACIÓN 5.	APORTACIÓN AL PIB DE LOS TRABAJADORES DE LA INDUSTRIA NUCLEAR.	35
ILUSTRACIÓN 6.	PROCESO DE FUSIÓN ENTRE EL DEUTERIO Y EL TRITIO.	60
ILUSTRACIÓN 7.	PISCINA DESTINADA AL ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR.	64
ILUSTRACIÓN 8.	ALMACÉN TEMPORAL INDIVIDUALIZADO DE LA CENTRAL NUCLEAR DE TRILLO.	65
ILUSTRACIÓN 9.	DISPOSICIÓN DE UN ALMACÉN TEMPORAL CENTRALIZADO.	67
ILUSTRACIÓN 10.	FOTOGRAFÍA DE UN REACTOR BN-800.	70
ILUSTRACIÓN 11.	CALDERA DE HIDRÓGENO DOMÉSTICA BOSCH.	79
ILUSTRACIÓN 12.	DISEÑO DE LA BATERÍA DE HIDRÓGENO DOMÉSTICA LAVO.	79
ILUSTRACIÓN 13.	DISEÑO EXTERIOR DEL PROYECTO DE CENTRAL NUCLEAR CON REACTOR SMR (ONTARIO, CANADÁ).	99
ILUSTRACIÓN 14.	ESQUEMA DEL REACTOR SMR.	99

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1.	DATOS GENERALES DE LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS.	16
TABLA 2.	CALENDARIO DE CIERRE DE LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS.	20
TABLA 3.	INVENTARIO DE RESIDUOS NUCLEARES EN ESPAÑA EN DICIEMBRE DE 2018.	21

TABLA 4. DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA DURANTE EL AÑO 2020.	28
TABLA 5. DEMANDA ELÉCTRICA EN ESPAÑA (PERÍODO 01/01/2019 – 31/12/2020).	29
TABLA 6. FUENTES DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA ENTRE LOS AÑOS 2017 Y 2020.	30
TABLA 7. POTENCIA INSTALADA DE CADA TECNOLOGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA.	31
TABLA 8. CONTRIBUCIÓN AL PIB ESPAÑOL REALIZADO POR LA INDUSTRIA NUCLEAR.	32
TABLA 9. IMPACTO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR EN DIFERENTES SECTORES ECONÓMICOS.	34
TABLA 10. IMPACTO DE LOS TRABAJADORES DE LA INDUSTRIA NUCLEAR EN DIFERENTES SECTORES ECONÓMICOS.	35
TABLA 11. COMPARATIVA GENERAL DE LA APORTACIÓN AL PIB POR EMPLEADO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR. .	36
TABLA 12. PRINCIPALES PREOCUPACIONES DE LOS ESPAÑOLES SOBRE ENERGÍA.	41
TABLA 13. PERCEPCIÓN DE ASPECTOS POSITIVOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR.	41
TABLA 14. PERCEPCIÓN DE ASPECTOS POSITIVOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR.	42
TABLA 15. ACTITUD DE LOS ESPAÑOLES HACIA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN LAS CENTRALES NUCLEARES.	43
TABLA 16. POSICIÓN DE LOS ESPAÑOLES ANTES LAS CENTRALES NUCLEARES TRAS CONOCER SU APORTACIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO.	44
TABLA 17. POSICIÓN DE LOS ESPAÑOLES ANTES LAS CENTRALES NUCLEARES TRAS CONOCER QUE NO EMITE GASES DE EFECTO INVERNADERO.	45
TABLA 18. POSICIÓN DE LOS ESPAÑOLES ANTES LAS CENTRALES NUCLEARES SI EXISTIESE UN PLAN DEFINITIVO RELATIVO A LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS.	45
TABLA 19. PERCEPCIÓN SOBRE LA SEGURIDAD DE LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS.	46
TABLA 20. PERCEPCIÓN SOBRE MEJORAS EN LA SEGURIDAD DE LAS CENTRALES NUCLEARES TRAS EL ACCIDENTE DE FUKUSHIMA.	47
TABLA 21. VIDA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE RESIDUOS RADIATIVOS.	63
TABLA 22. EMISIONES TOTALES DE CO ₂ EN TODO EL CICLO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CENTRALES ELÉCTRICAS.	73
TABLA 23. ESTIMACIÓN DE LOS COSTES DE INVERSIÓN EN 2030 Y 2050 SEGÚN LA TECNOLOGÍA ELÉCTRICA.	84
TABLA 24. COSTES FIJOS SEGÚN LA TECNOLOGÍA ELÉCTRICA.	85
TABLA 25. ANÁLISIS DAFO.	89
TABLA 26. ENERGÍA ELÉCTRICA IMPORTADA POR ESPAÑA (PENÍNSULA).	96

1. INTRODUCCIÓN.

La energía nuclear es una de las fuentes de producción de energía eléctrica con más potencial que la humanidad ha usado a lo largo de su historia, siendo capaz de generar ingentes cantidades de energía a partir de una pequeña cantidad de combustible. La energía nuclear tiene una gran capacidad para cubrir las necesidades energéticas que la población exige, siendo hasta día de hoy uno de los pilares fundamentales de la estructura eléctrica en los países desarrollados. Sin embargo, a pesar del potencial y capacidad que destaca a la energía nuclear, la controversia que genera a su alrededor provoca que sea una industria tabú sobre la que siempre se cuestiona su idoneidad.

La situación del sector nuclear varía mucho a lo largo del mundo. Existen países claramente pronucleares, en los que las inversiones en este sector buscan que en su sistema eléctrico prime la energía nuclear por encima de cualquier otro tipo de energía. Sin embargo, en el caso de España, la situación de este sector es cuanto menos controvertida. Desde el inicio de la industria nuclear en España, la polémica ha estado a la orden del día. Desde modificaciones de los planes y proyectos establecidos, pasando por planes que nunca llegaron a ejecutarse pero que hoy en día siguen siendo necesarios, la industria nuclear siempre se ha encontrado con impedimentos. Además, las ideologías políticas existentes en España han usado esta industria como un arma arrojadiza, posicionándose unos a favor y otros en contra. Todo ese descontrol político ha degenerado en leyes y propuestas que han buscado perjudicar todo lo posible a la industria nuclear, de forma que existe un plan para cerrar las centrales nucleares a pesar de que aún no existe suficiente potencia eléctrica instalada procedente de otras fuentes como para sustituirla.

Buena parte de estas polémicas tienen su origen simplemente en la percepción de la población cuando los temas están relacionados con lo nuclear. Una elevada proporción de la población asocia a la energía nuclear connotaciones negativas. Es innegable el miedo que suscitan en cualquier persona términos como bombas nucleares, radiactividad o contaminación nuclear. Estos términos sacan a la luz las preocupaciones de la población cuando se les habla de energía nuclear, lo que, de forma directa e indirecta, provoca que la industria nuclear sufra un considerable rechazo. Esto sumado a las diferentes posturas de organizaciones con un gran poder

sobre masas sociales, provoca que la popularidad de la industria nuclear no sea especialmente buena.

No obstante, la energía nuclear aún muestra ventajas de interés general. La situación medioambiental global es muy comprometida, siendo las fuentes de energía eléctrica uno de los principales problemas. A pesar de la generación de residuos radiactivos, la energía nuclear es una importante aliada hoy en día, ya que no contribuye en el mayor problema al que se enfrenta actualmente la humanidad, el cambio climático debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto junto al avance tecnológico desarrollado en el sector nuclear en los últimos tiempos, el cual permite reciclar residuos radiactivos, así como mejorar enormemente las condiciones de seguridad en la operación de las centrales nucleares que tanto preocupan a la población, hace que la industria nuclear aún sea capaz de resistir.

Con el objetivo de analizar el estado en el que se encuentra la industria nuclear y su posible importancia para el futuro, considerando tanto sus ventajas como sus desventajas, este proyecto estudiará en profundidad el entorno que rodea a la industria nuclear en España y como este afecta al desarrollo de la industria, así como se analizará el propio funcionamiento de esta.

Una vez realizado este análisis, se poseerá la información suficiente como para poder posicionarse a favor o en contra del uso de la energía nuclear, tanto en la actualidad como en el futuro a corto y medio plazo. Esto permitirá identificar cuáles son las necesidades de la industria nuclear y los planes que serían necesarios llevar a cabo sobre ella.

2. LA ENERGÍA NUCLEAR COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

2.1. ¿Qué es la energía nuclear?

Por definición, “la energía nuclear es la energía contenida en el núcleo de un átomo, considerando un átomo como la partícula más pequeña en que se puede dividir en elemento químico manteniendo sus propiedades”. Partiendo de esta definición, se podría ahondar en el concepto de energía nuclear. Para ello es necesario conocer las

partículas que forman los átomos de los elementos, así como las fuerzas fundamentales que existen dentro de los propios átomos.

En primer lugar, los átomos de los elementos están constituidos por tres tipos de partículas:

- Neutrones: partículas con carga neutra.
- Electrones: partículas con carga negativa.
- Protones: partículas con carga positiva.

El núcleo de un átomo está formado por dos de estas partículas, los protones y los neutrones, mientras que alrededor del núcleo se encuentran los electrones.

En cuanto a las fuerzas o interacciones fundamentales existentes dentro de los átomos, estas pueden ser divididas en cuatro:

- Fuerza electromagnética, resultante de la interacción entre partículas con carga eléctrica. Es decir, es la fuerza de atracción que se produce entre los electrones que rodean al núcleo y los protones que forman el propio núcleo, ya que tienen cargas opuestas, y a su vez es una fuerza de repulsión entre los protones del núcleo, ya que todos tienen carga positiva.
- Fuerza nuclear fuerte. Es la energía que mantiene el núcleo unido. Esta fuerza es de naturaleza desconocida, con un efecto de muy corto alcance, pero de una gran intensidad, lo que permite vencer la fuerza de repulsión entre los protones del núcleo.
- Fuerza nuclear débil, que como su propio nombre indica es mucho menor en comparación con la fuerza nuclear fuerte. Esta produce la desintegración radiactiva de los átomos, es decir, la descomposición natural de los protones y neutrones que forman el núcleo de los átomos, que provoca la emisión de electrones.
- Fuerza gravitatoria. Esta no es considerada a escala atómica, ya que su influencia se considera despreciable.

Conocidas las cuatro fuerzas fundamentales, se puede considerar que un átomo es estable cuando todas estas fuerzas se encuentran en equilibrio (la fuerza de repulsión tiene un valor absoluto igual al de la fuerza de atracción) o cuando la fuerza de atracción es mayor que la de repulsión. Los átomos que no son estables buscan el

equilibrio, por lo que sufren transformaciones espontáneas con el objetivo de convertirse en átomos estables (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Foro Nuclear, 2020) (Química.es, s. f.).

Es aquí donde surge el concepto de radiactividad, ya que esta se podría definir como el fenómeno mediante el cual un núcleo atómico se desintegra para convertirse en un núcleo estable, proceso mediante el cual se emite una gran cantidad de energía en forma de radiaciones ionizantes o radiación nuclear (ondas electromagnéticas y fotones) y partículas (neutrones y electrones). Para lograr esta desintegración del núcleo atómico se necesita cierta cantidad de energía, denominada energía de enlace nuclear y la cual se debe a la energía nuclear fuerte. Esta energía liberada es la que se utiliza en las centrales nucleares para producir electricidad (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (¿Qué es la radiactividad?, 2017).

Por último, dentro de este breve repaso sobre que es la energía nuclear, resulta necesario definir que es un isótopo, un concepto muy importante a la hora de comprender todo lo relacionado con el combustible utilizado en las centrales nucleares. Un elemento químico puede tener varios isótopos, teniendo todos ellos el mismo número de protones dentro del núcleo, pero diferente número de neutrones. Es decir, son átomos de un mismo elemento que varían en el número de neutrones que forman su núcleo, y alguno de estos isótopos puede ser inestable o radiactivo (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Planas, 2020).

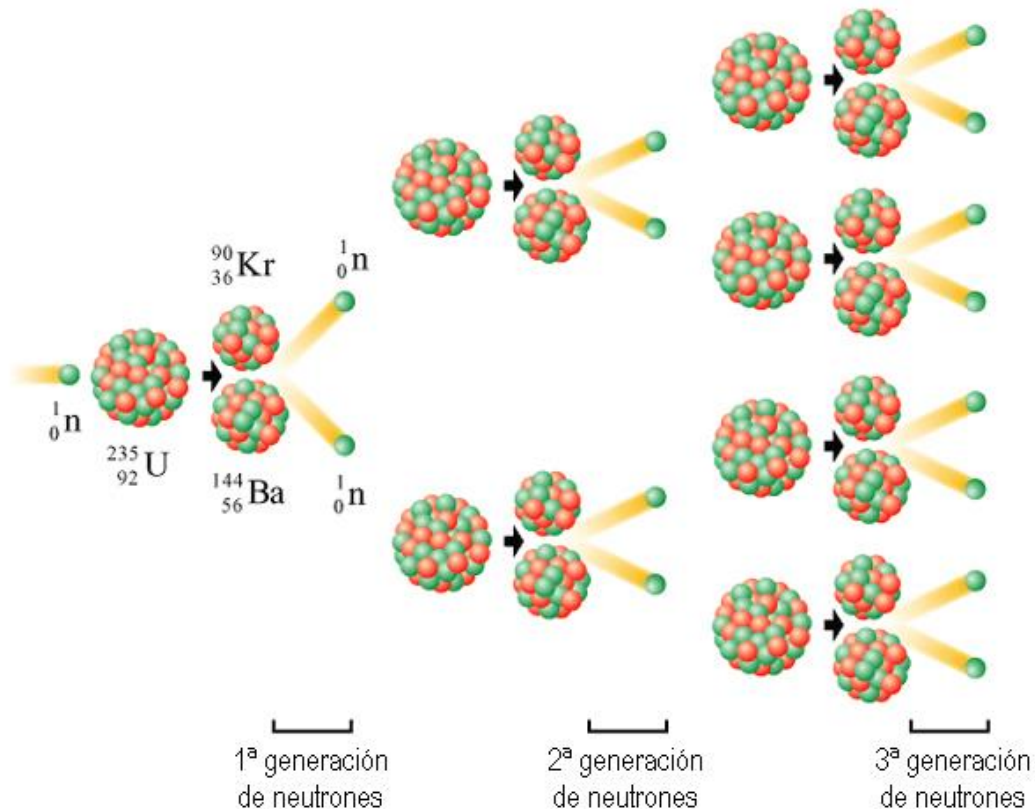
2.2. ¿Cómo funciona una central nuclear?

Las centrales nucleares actuales se encuentran basadas en la fisión nuclear, es decir, cuando el núcleo de un átomo se divide formando nuevos átomos más pequeños y ligeros, liberando algunos neutrones y una gran cantidad de energía, igual a la energía nuclear fuerte que permitía que el núcleo permaneciese unido venciendo la fuerza electromagnética de repulsión, la cual posee una gran intensidad.

Para conseguir la fisión nuclear, las centrales nucleares se basan en el bombardeo de neutrones sobre los átomos de combustible nuclear. Si un neutrón choca con el núcleo de un átomo de combustible, este se fisiona, formando nuevos átomos de un elemento químico menos pesado, liberando en este proceso gran

cantidad de energía y neutrones. Los neutrones emitidos servirán para romper otros núcleos atómicos de combustible, que volverán a emitir nuevos neutrones que seguirán bombardeando al combustible. Esto se conoce como reacción en cadena. A su vez, toda la energía liberada en este proceso será la que se utilice posteriormente para ser transformada en energía eléctrica. En la Ilustración 1 se puede apreciar de forma gráfica como se produce dicha reacción en cadena.

Ilustración 1. Reacción nuclear en cadena.



Fuente: <http://radicalbarbatilo.blogspot.com>

Para controlar esta reacción en cadena, las centrales nucleares cuentan con diferentes métodos, siendo los dos más importantes las barras de control y el uso de ácido bórico. Las barras de control son unas barras fabricadas con un material determinado, normalmente una aleación de diversos materiales cuya característica principal es que tienen una gran capacidad para captar neutrones. Estas barras se encuentran en el núcleo del reactor y pueden ser insertadas en mayor o menor medida dentro de él, según sea necesario. Por tanto, cuanto más se hayan insertado las barras de control, habrá mayor cantidad de material para captar neutrones, por lo que se reducirá el número de impactos de estos contra los núcleos de combustible, evitando así que se liberen nuevos neutrones que continúen con la reacción en

cadena. El segundo método, relativo al ácido bórico, consiste en que el agua que circula por el circuito primario, el cual se analizará a continuación, contenga una determinada concentración de este ácido, el cual tiene la propiedad de captar neutrones, al igual que las barras de control. De esta forma, en función de la cantidad presente de ácido bórico en el agua de este circuito, habrá mayor o menor cantidad de neutrones que puedan bombardear los núcleos del combustible nuclear.

La mayoría de los reactores nucleares utilizan como combustible Uranio. Este se encuentra en la naturaleza en dos formas (isótopos):

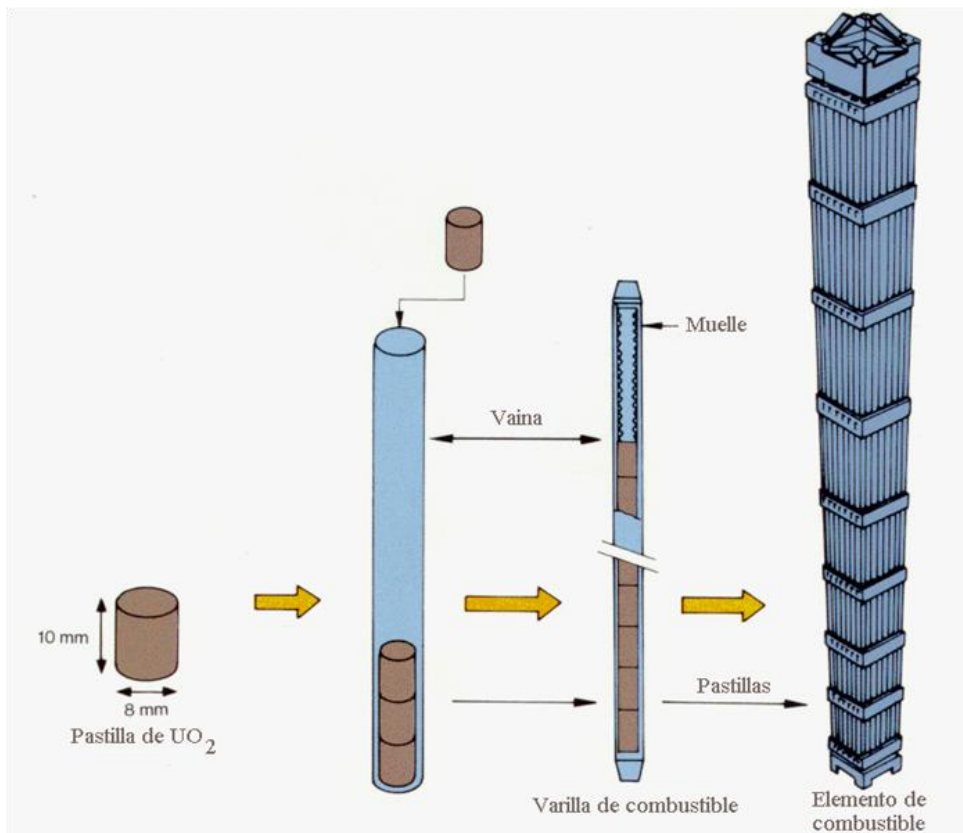
- Uranio 238, presente en la naturaleza en una proporción del 99.3 %.
- Uranio 235, presente en la naturaleza en una proporción del 0.7 %.

La principal diferencia entre ambos isótopos es que el Uranio 238 no es fisiónable, mientras que el Uranio 235 tiene una gran capacidad para fisiónar. Debido a esto y a que las centrales nucleares necesitan una proporción de Uranio 235 de entre el 2% y 5%, es necesario enriquecer el uranio para aumentar la concentración de este isótopo hasta el nivel correcto. Cuanto mayor sea la cantidad de Uranio 235 utilizado como combustible, mayor será el tiempo que puede funcionar una central nuclear sin repostar, debido a la mayor cantidad de combustible nuclear. Normalmente se busca que una central nuclear pueda trabajar de forma continuada entre uno y dos años (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Sociedad Nuclear Española, 2020).

El combustible nuclear utilizado en las centrales nucleares, en este caso Uranio enriquecido para que contenga mayor concentración del isótopo Uranio 235, es transformado para darle forma de pastilla cilíndrica, con un tamaño aproximado de un centímetro de alto y ocho milímetros de diámetro. Estas pastillas son colocadas dentro de las vainas, formando las varillas de combustible, las cuales además de almacenar el uranio también recogerán los productos de fisión procedentes de la división de los núcleos de Uranio 235. Estas varillas de combustible son finalmente unidas en una matriz comúnmente de un tamaño de 17x17 varillas, formando el elemento combustible, de unos cuatro metros de alto. Dentro del núcleo del reactor de una central nuclear destinada a poseer una potencia de 1000 MW, se pueden encontrar alrededor de 150 elementos de combustible. Toda esta información sobre el

combustible nuclear se puede ver a continuación de forma esquemática en la Ilustración 2 (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Foro Nuclear, 2020).

Ilustración 2. Disposición del combustible nuclear.



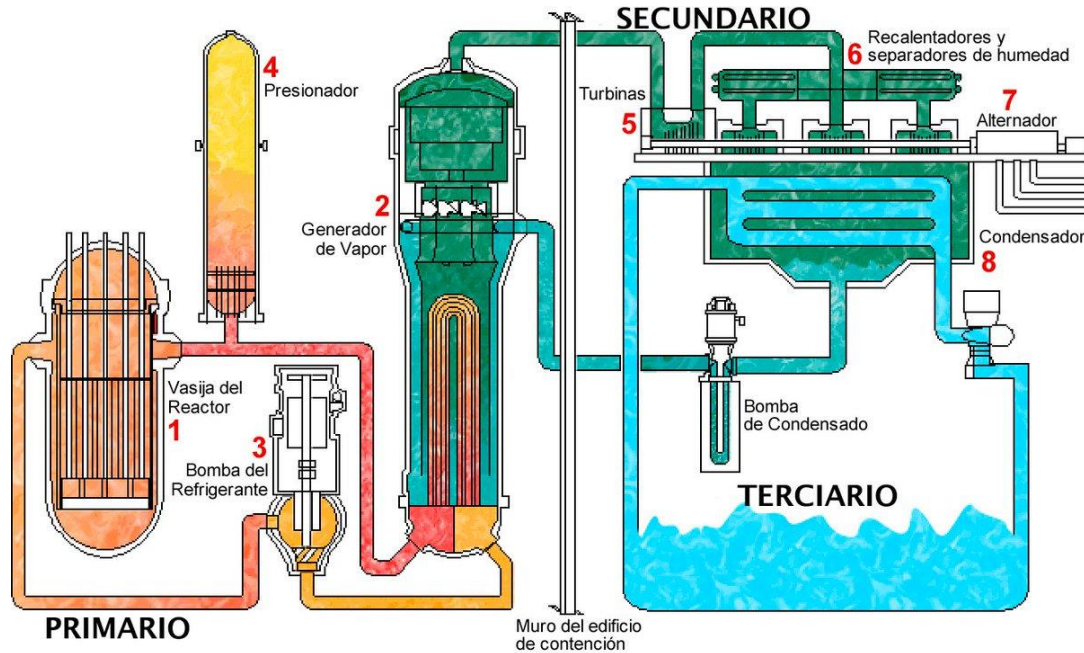
Fuente: <https://rinconeducativo.org>

A continuación, una vez tratado como se libera la energía nuclear, se explicará el proceso que transforma esta energía en la energía eléctrica que se incorpora a la red eléctrica para ser consumida. Con el objetivo de evitar una explicación demasiado densa y con muchas variantes, ya que existen varios tipos de centrales nucleares, y cada una de ellas puede tener diferentes modificaciones en su diseño y proceso productivo, se explicará el funcionamiento básico del tipo de central nuclear más común hoy en día, las centrales PWR (Pressurized Water Reactor o Reactores de Agua a Presión).

La principal característica de las centrales que siguen el esquema PWR es que están divididas en tres circuitos conductores de agua diferentes, cada uno con unas funciones diferentes y distintas características, tanto es su estructura como en la del agua que circula por los mismos. En la Ilustración 3 se puede apreciar la disposición

de estos circuitos de forma esquemática, los cuales serán analizados de forma individual a continuación.

Ilustración 3. Esquema del circuito de una central nuclear PWR.



Fuente: <https://twitter.com/OperadorNuclear>

El circuito primario es recorrido por un flujo de agua bombeada a una presión aproximada de 152 bar, gracias a la existencia de un presionador, y a una temperatura cercana a los 300 °C. Esta agua se encuentra en estado líquido, ya que la temperatura de saturación del agua a la presión indicada anteriormente es de unos 343.16 °C, por lo que siempre circulará agua líquida por el circuito primario. El agua se calienta a esta temperatura ya que dentro del circuito primario se encuentra la vasija del reactor, el lugar donde se encuentra el combustible nuclear y donde se produce la fisión nuclear, por lo que la energía liberada en forma de calor calienta el agua del circuito. Una vez que el agua se ha calentado al atravesar la vasija del reactor, llega hasta el llamado generador de vapor. En él, agua procedente del circuito secundario entra en contacto con las tuberías del circuito primario, que contienen el agua procedente del reactor y que se encuentran a la temperatura indicada anteriormente. De esta forma, el agua del circuito secundario es calentada hasta transformarse en vapor. Finalmente, el agua del circuito primario, una vez que ha cedido calor al agua del circuito secundario, pasa por una bomba que la vuelve a conducir hasta el reactor, para completar el proceso cíclico y cerrado del agua en este circuito. Debido a la presencia del reactor

y a que esta agua ha recibido radiación procedente de la fisión del combustible nuclear, este circuito se encuentra dentro del llamado edificio de contención.

El circuito secundario es un circuito típico de cualquier central de producción de energía eléctrica. En él, circula agua que como se ha indicado anteriormente, se convierte en vapor gracias al generador de vapor. Este vapor es conducido hasta diferentes turbinas que giran a 1500 rpm, las cuales tienen diferentes geometrías y características para aprovechar al máximo el vapor del circuito. Estas turbinas se encuentran conectadas a un generador eléctrico que finalmente permite la generación de electricidad, la cual finalmente es enviada a un centro de transformación, y de ahí a la red eléctrica. Una vez el vapor ha pasado por las turbinas, es condensado para convertirse de nuevo en agua líquida, proceso que se realiza en el condensador, donde el circuito que transporta el vapor entra en contacto con el agua líquida y a temperatura ambiente del circuito terciario. Una vez se ha producido la condensación del vapor, el agua pasa a ser bombeada hacia el generador de vapor, donde volverá a repetirse el proceso.

El circuito terciario es un circuito abierto, a diferencia de los dos anteriores. Este toma agua del medio ambiente, por ejemplo un lago, un río o el mar. Esta se hace llegar hasta el condensador del circuito secundario, absorbe el calor del vapor que circula por él y es devuelta al medio ambiente. En cuanto a este circuito se deben hacer dos aclaraciones importantes. La primera de ellas es que el agua que circula por el circuito terciario no ha recibido ningún tipo de radiación, por lo que es agua no contaminada y totalmente apta para ser devuelta al lugar del que fue obtenida. En segundo lugar, esta agua que es devuelta al medio ambiente únicamente ha sufrido una variación de su temperatura, estando más caliente que en su estado original ya que ha absorbido parte del calor del circuito secundario. En el caso de que esta central tome el agua del circuito terciario del mar, no es necesaria la existencia de una torre de refrigeración, ya que la temperatura del agua liberada no es suficientemente alta como para causar daños medioambientales, debido a la gran masa de agua existente en el mar en comparación con el agua cedida por la central nuclear. Sin embargo, si la central nuclear toma agua del circuito terciario de un lago o un río, donde la cantidad de agua existente es mucho menor que en el mar, este circuito debe contar con una torre de refrigeración.

La principal función de las torres de refrigeración es proteger el medio ambiente enfriando el agua que va a ser devuelta al medio para evitar dañar el ecosistema. Estas funcionan como un intercambiador de calor. El agua que ha sido calentada en el condensador llega hasta la torre, donde se hace caer en forma de lluvia gracias a unos rociadores. Debido a la forma que posee la torre de refrigeración y a su diseño (también pueden existir elementos como ventiladores), se produce un flujo de aire que asciende desde el nivel más bajo de la torre hasta su salida por la parte superior. Este flujo de aire entrará en contacto con las gotas de lluvia, de forma que parte de ellas ascenderán con el aire hacia arriba hasta salir por la parte superior de la torre, mientras que el resto de las gotas de lluvia caerán al fondo de la torre a menor temperatura, ya que habrán sido enfriada por el flujo de aire, y esa agua es la que será devuelta al medio.

Con el objetivo de no generalizar y mostrar algunas diferencias, este esquema seguido por una central PWR se puede comparar con el seguido por el otro tipo de centrales nucleares más comunes, las BWR (Boiling Water Reactor o Reactor de Agua en Ebullición). La principal característica de las centrales BWR es que el circuito primario y secundario que posee la central PWR se encuentran combinados, es decir, el agua que es calentada en el reactor es la misma que se transforma en vapor y mueve a las turbinas. Esto mejora el rendimiento de la central nuclear, ya que no se pierde calor en la transferencia de calor entre el circuito primario y secundario. Sin embargo, todas las turbinas y los sistemas que intervienen en la generación de electricidad reciben radiación procedente del vapor calentado en el reactor, por lo que se necesitan mayores medidas de seguridad y control de la radiación (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Foro Nuclear, 2020) (CSN, s. f.) (Sociedad Nuclear Española, 2020).

3. DESARROLLO DEL SECTOR HASTA LA FECHA.

3.1. Historia de las centrales nucleares españolas.

El inicio de la historia de los reactores nucleares en España se remonta al año 1958, cuando entró en funcionamiento por primera vez el reactor JEN 1, el cual continuó su funcionamiento hasta el año 1979. Este estaba destinado a realizar tareas de investigación nuclear, formación de personal y producción de radioisótopos. El

reactor JEN 1 fue creado por la Junta de Energía Nuclear (JEN), la cual estaba destinada a realizar investigaciones y desarrollar la tecnología relacionada con la energía nuclear, en colaboración con la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos, la cual buscaba ante la ONU ayudar a los países que quisiesen realizar un uso pacífico de la energía nuclear y limpiar la imagen de todo lo relacionado con este tipo de energía, ya que aún era reciente en la población el uso de las bombas atómicas durante la Segunda Guerra Mundial. Para ello, Estados Unidos se comprometió a crear un depósito de 100 kg de combustible nuclear con fines relacionados con la investigación, además de hacerse cargo de la mitad de los costes de construcción de los reactores experimentales. Junto con el JEN 1 se creó la Planta Caliente M-1, que tenía por objetivo tratar los residuos procedentes del reactor JEN 1.

Finalmente, entre 1968 y 1970, entraron en funcionamiento las tres primeras centrales nucleares en España: José Cabrera, en Guadalajara, Vandellós I, en Tarragona, y Santa María de Garoña, en Burgos. A continuación, y debido a la actividad de estas centrales nucleares, en 1972 se creó la Empresa Nacional de Uranio (Enusa), encargada de realizar todas las labores relacionadas con el uranio, como son su aprovisionamiento, las tareas de enriquecimiento y el abastecimiento de las centrales. Para ello se nutría de los yacimientos de uranio de Salamanca.

En 1980 se disolvió la JEN y surgieron dos nuevos organismos, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) que se encarga de todos los asuntos respectivos a la seguridad y protección que surgen como consecuencia de la actividad nuclear, y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), encargado de realizar tareas de investigación y desarrollo tecnológico relacionadas con la energía nuclear, la protección de la radiación y energías renovables.

En 1984 surgió la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa), que como su propio nombre indica estaba destinada a gestionar los residuos radiactivos provenientes de las centrales nucleares. A partir de este, se creó el Centro de Almacenamiento de Residuos de Baja y Media Actividad de El Cabril, el cual entró en funcionamiento en 1992.

Posteriormente, entre 1980 y 1989, entraron en funcionamiento las centrales nucleares de Almaraz, en Cáceres, Ascó, en Tarragona, Cofrentes, en Valencia, Vandellós II, en Tarragona, y Trillo, en Guadalajara.

Actualmente, en España se pueden encontrar cinco centrales nucleares activas con un total de siete reactores nucleares, siendo todos ellos reactores del tipo PWR (reactores de agua a presión) salvo uno que es del tipo BWR (reactores de agua en ebullición). En la Tabla 1 se enumeran todos los reactores nucleares activos en la actualidad, además de algunos datos de interés como el lugar en el que se encuentran, sus titulares y propietarios, el tipo de reactor, su potencia eléctrica y el año en el que comenzaron a funcionar para incorporar energía eléctrica a la red española.

Tabla 1. Datos generales de las centrales nucleares españolas.

REACTOR	EMPLAZAMIENTO	TITULAR	PROPIETARIOS	POTENCIA ELÉCTRICA(MW)	TIPO	AÑO INICIO EXPLOTACIÓN COMERCIAL
Almaraz I	Almaraz Cáceres	Centrales Nucleares Almaraz-Trillo, AIE. (CNAT)	Iberdrola Generación Nuclear, S.A. (52,7%), ENDESA Generación, S.A. (36,0%), Naturgy Energy Group, S.A. (11,3%)	1.049,40	P.W.R.	1983
Almaraz II	Almaraz Cáceres	Centrales Nucleares Almaraz-Trillo, AIE. (CNAT)	Iberdrola Generación Nuclear, S.A. (52,7%), ENDESA Generación, S.A. (36,0%), Naturgy Energy Group, S.A. (11,3%)	1.044,50	P.W.R.	1984
Ascó I	Ascó Tarragona	Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II, AIE. (ANAV)	Endesa Generación S.A. (100%)	1.032,50	P.W.R.	1984
Ascó II	Ascó Tarragona	Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II, AIE. (ANAV)	Endesa Generación, S.A. (85%) Iberdrola Generación Nuclear, S.A. (15%)	1.027,21	P.W.R.	1986
Cofrentes	Cofrentes Valencia	Iberdrola Generación Nuclear, S.A.	Iberdrola Generación Nuclear, S.A.	1.092,02	B.W.R.	1985
Vandellós II	Vandellós I L'Hospitalet del Infant Tarragona	Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II, AIE. (ANAV)	Endesa Generación, S.A. (72%), Iberdrola Generación Nuclear, S.A. (28%)	1.087,14	P.W.R.	1988
Trillo	Trillo Guadalajara	Centrales Nucleares Almaraz-Trillo, AIE. (CNAT)	Iberdrola Generación Nuclear, S.A. (48%), Naturgy Energy Group, S.A. (34,5%), EDP HC Energía, S.A. (15,3%), Nuclenor, S.A. (2%)	1.066,00	P.W.R.	1988
Total				7.398,77		

Fuente: <https://energia.gob.es/>

Como se puede deducir, estos no son los únicos reactores nucleares que han existido en España, ya que existen otros que en la actualidad han cesado totalmente su actividad, que se encuentran en estado de desmantelamiento o que se encuentran en período de latencia (fase del desmantelamiento en el que aún se conservan dentro

de la central nuclear los residuos radiactivos, con el objetivo de que su radiactividad disminuya hasta que puedan ser retirados de forma segura con carácter definitivo).

Sin embargo, un aspecto que será tratado posteriormente es el de que estas no fueron las únicas centrales nucleares ni almacenes de residuos que se proyectaron en España. Debido a la situación política de la época, el sector industrial de la energía nuclear sufrió graves consecuencias provocadas por los cambios de planes energéticos llevados a cabo por los diferentes gobiernos que se encontraban al mando (CSN, s. f.) (Romero De Pablos, 2012) (Romero De Pablos, 2012) (Sociedad Nuclear Española, 2012).

4. ANÁLISIS PESTEL.

El análisis PESTEL es una herramienta que sirve para analizar el entorno que rodea a un determinado sector o empresa. Por tanto, en este análisis se estudiarán las circunstancias existentes en diferentes ámbitos que afectan directamente al sector nuclear, siendo estos ámbitos el político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal. En este caso, es necesario indicar que el análisis legal no se ha realizado de una forma independiente como ocurre con el resto de los ámbitos, ya que el paradigma legal que rodea al sector nuclear se debe ir analizando de forma conjunta dentro del análisis del resto de ámbitos para poder ofrecer un análisis mucho más claro y específico. Como se mostrará a continuación, existen multitud de leyes que han sido utilizadas como arma política, leyes que afectan directamente a la situación económica del sector y otras leyes que afectan directamente a la industria energética y su influencia sobre el medioambiente.

4.1. Análisis Político.

4.1.1. Evolución de las medidas políticas sobre las centrales nucleares en España.

Con el objetivo de evitar polémicas innecesarias, se indica que en este apartado se mencionarán exclusivamente las leyes y medidas desarrolladas por los distintos gobiernos al mando del país, sin realizarse comentarios que mencionen a partidos políticos y los diferentes actos y usos que estos hayan realizado sobre la energía nuclear.

Como se indicaba en el capítulo anterior, en el año 1972 ya se encontraban en funcionamiento tres centrales nucleares (José Cabrera, Santa María de Garoña y Vandellós I), que formaban parte de un grupo de 24 reactores nucleares que se pretendían poner en funcionamiento progresivamente en España. Sin embargo, tras la elaboración del Plan Energético Nacional de 1978, el número de reactores nucleares que se instalarían en España fue reducido a 12. Esto significaba, teniendo en cuenta que cada uno de estos reactores tendría una potencia aproximada de 1.000 MW, que el objetivo era aportar a la red eléctrica 12.500 MW provenientes de la energía nuclear, algo que pretendía conseguirse en el año 1990. Incluso se contemplaba la posibilidad de que, si la inversión conseguía buenos resultados, el número de reactores podría aumentarse.

Sin embargo, el gobierno de 1982 pretendía que la energía nuclear aportase a la red eléctrica en menor proporción, en otras palabras, se quería reducir la potencia total desde los 12500 MW hasta los 7500 MW. Para ello, la única opción era reducir el número de reactores nucleares, algo que no hubiese supuesto mayores problemas salvo por el hecho de que algunos de los reactores estaban ya en construcción y otros prácticamente finalizados y listos para ponerse en funcionamiento.

A esta situación de confrontación entre las políticas de los dos últimos gobiernos de la época, se sumó un nuevo problema, la banda terrorista ETA. Esta puso entre sus objetivos atacar contra las centrales nucleares españolas, concretamente contra la central Lemóniz I, que se encontraba en construcción. En los años 1978 y 1979 atentaron con bombas, asesinando e hiriendo a operarios de la central. En el año 1981, planearon y ejecutaron el secuestro y asesinato del ingeniero jefe de la central. Posteriormente, en 1982, también asesinaron al jefe de proyecto de la central de Lemóniz.

Finalmente, debido a estos dos aspectos fundamentales, los cuales eran el plan de reducir la potencia proveniente de la energía nuclear y el miedo y daño causado por ETA, se paralizó la construcción de las centrales nucleares de Lemóniz y Valdecaballeros, las cuales contaban con dos reactores nucleares cada una.

Durante unos años se mantuvo una relativa calma en cuanto a la situación de las centrales nucleares españolas, ya que a pesar de las diferencias ideológicas entre

los diferentes partidos políticos no se tomó ninguna decisión que afectase al funcionamiento de estas. Pero esta situación de calma desapareció en 2008, cuando el nuevo gobierno decidió que cerraría la central nuclear de Santa María de Garoña, la cual se recuerda que fue una de las primeras centrales nucleares que se puso en funcionamiento en España, y por tanto la más antigua que se encontraba en funcionamiento. Para ese momento, ya se habían cerrado las centrales nucleares de Vandellós I (entre los años 1998 y 2003) y José Cabrera (año 2006), dado que eran las centrales nucleares más antiguas de España y los estudios realizados indicaban que no sería rentable invertir en estas centrales para que estuviesen actualizadas en términos de seguridad en relación con su aportación a la red eléctrica. Sin embargo, en el caso de la central nuclear de Santa María de Garoña hubo mucha más controversia. El Gobierno en la presidencia del año 2008 pretendía cerrar esta central para el año 2011, aludiendo a la falta de rentabilidad de la central y a las necesidades de inversión para actualizar la central en términos de seguridad. La central entró en parada técnica y dejó de producir energía eléctrica en el año 2012 debido a los impedimentos del gobierno para lograr su objetivo de cerrar la central nuclear (incremento de las tasas e impuestos relativas al combustible nuclear y diferentes decretos reales). Sin embargo, no fue hasta el año 2017, momento en el que se encontraba en el poder un partido de diferente signo político, cuando se llegó a una decisión definitiva sobre la central. Gracias a los informes elaborados por el CSN se determinó que sería posible que la central volviese a entrar en funcionamiento siempre que cumpliese con las exigencias de seguridad de los informes. Pero fue en ese momento cuando las empresas propietarias de la central entraron en disputa, ya que una de ellas pretendía volver a poner en funcionamiento la central y la otra no lo contemplaba en sus planes de futuro. En consecuencia, fue el propio gobierno quien, en base a esta situación, decidió cerrar la central nuclear (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Unzueta, 1982) (Enresa, s. f.) (Enresa, s. f.) (Redacción y Agencias Barcelona, 2017).

Continuando con las medidas futuras que afectan a las centrales nucleares españolas, en el año 2018 se formó un nuevo Gobierno, que volvía a ser de signo opuesto al que ocupaba el poder un año antes. Este elaboró un plan energético, que sigue en vigor hasta día de hoy, que tiene como uno de sus principales objetivos el de cerrar las centrales nucleares españolas entre los años 2025 y 2035, siendo una de

las causas el relativo envejecimiento de estas centrales, ya que en ese período todas alcanzarán una vida útil de unos 40 años. El calendario de cierre de las centrales nucleares actualmente activas que incluye este plan energético es el que se muestra en la Tabla 2 (Cerrillo Barcelona, 2019) (Aleasoft Energy Forecasting, 2019).

Tabla 2. Calendario de cierre de las centrales nucleares españolas.

Calendario de cierre de la centrales nucleares	
Central	Año de cierre
Almaraz I	2028
Almaraz II	2028
Ascó I	2029
Ascó II	2032
Cofrentes	2033
Vandellós II	2035
Trillo	2035

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com>

4.1.2. *Evolución de las medidas políticas sobre los residuos radiactivos en España.*

En el apartado posterior relativo al análisis ecológico se tratarán en mayor profundidad todo lo que concierne a los residuos radiactivos. Sin embargo, a modo de que este apartado sea más comprensible, se realizará un breve resumen.

En España, los residuos de combustible nuclear procedentes de las centrales nucleares se almacenan principalmente en un Almacén Temporal Individualizado (ATI). Estos almacenes están formados por contenedores de unas determinadas características en los que se almacenan los residuos, y normalmente se encuentran en el propio recinto de las centrales nucleares. En España existen ATI's en las centrales nucleares de Almaraz I y II, José Cabrera, Trillo, Ascó I y II y Santa María de Garoña. Además, la central nuclear de Cofrentes se encuentra en proceso de construir su propio ATI. Este tipo de almacenes poseen una vida útil de entre 60 y 100 años, aunque esta puede ampliarse si es necesario aplicando diferentes medidas.

Por otro lado, en España también existe el Centro de Almacenamiento de El Cabril, en Córdoba. En este se almacenan residuos radiactivos de diferentes tipos, desde materiales que han sufrido algún tipo de radiación procedentes del

desmantelamiento de las centrales nucleares hasta los residuos nucleares procedentes de usos médicos, como podrían ser los generados por la realización de radiografías.

Para la gestión de estos residuos, existe el Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR), el cual se puede definir como “el documento oficial que contempla las estrategias, actuaciones necesarias y soluciones técnicas a desarrollar en el corto, medio y largo plazo en España para la gestión de los residuos radiactivos y para el desmantelamiento de las centrales nucleares”. Actualmente se encuentra vigente el 6º Plan General de Residuos Radiactivos, pero debido a la desactualización de este, ya que entró en vigor en el año 2006, existe en la actualidad un borrador del 7º PGRR. Este borrador incluye muchas de las medidas establecidas en su predecesor, pero es mucho más preciso en otros aspectos, ya que incluye entre otros aspectos, los planes de desmantelamiento de todas las centrales nucleares españolas. Otra de las principales características de este PGRR es que solo contempla el almacenamiento de los residuos radiactivos y no abre la puerta a posibles alternativas relativas al reciclaje o reutilización de algunos de estos productos, que como se tratará más adelante, podrían suponer opciones interesantes en diferentes aspectos.

Del 7º Plan General de Residuos Radiactivos se puede extraer la siguiente tabla resumen, la cual indica tanto el inventario de residuos almacenados a finales del año 2018 como la previsión de residuos generados hasta que finalmente se hayan desmantelados las centrales nucleares actualmente activas o que aún no han terminado de ser desmanteladas. Toda esta clasificación se realiza según los diferentes tipos de residuos radiactivos generados y los datos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Inventario de residuos nucleares en España en diciembre de 2018.

TIPO DE RESIDUO	VOLUMEN APROXIMADO (m³)			%
	INVENTARIO A 31-12-18	PREVISIÓN GENERACIÓN	INVENTARIO TOTAL	
RBBA	22.500	101.000	123.500	52
RBMA	40.300	56.200	96.500	41
RE	200	5.900	6.100	3
CG Y RAA	7.300	3.100	10.400	4
TOTAL	70.300	166.200	236.500	100

Fuente: <http://revistanuclear.es>

A modo de concreción los residuos RBBA hacen referencia a los residuos de muy baja actividad, los RBMA a residuos de baja y media actividad, los RE a residuos especiales y los RAA a residuos de alta actividad, entre los que se incluyen los residuos CG (combustible gastado de las centrales nucleares).

De esta previsión se extrae que los residuos de muy baja actividad y los de baja y media actividad, los cuales tienen como destino el Centro de Almacenamiento de El Cabril, mencionado anteriormente, podrán seguir siendo almacenados en este centro, ya que según los estudios realizados este tiene una mayor capacidad de almacenamiento que la cantidad de residuos que serán generados.

En cuanto a los residuos radiactivos de alta actividad y los procedentes del combustible gastado de las centrales nucleares, existen diversas opciones para su almacenamiento, las cuales serán tratadas a continuación.

Una de las principales opciones es la creación de un Almacén Temporal Centralizado (ATC). La ventaja de un ATC es que todos los residuos que se encuentran distribuidos en los diferentes ATI's existentes en España se concentrarían en un solo almacén, suponiendo ventajas en términos económicos, logísticos, de seguridad, etc. Sin embargo, como alternativa a la construcción de un ATC, se plantea la posibilidad de la construcción de varios Almacenes Temporales Descentralizados (ATD). La diferencia básica entre ambas opciones es que una concentraría todos los residuos en una sola instalación, mientras que la otra los distribuiría por el territorio nacional, algo similar a lo que ya ocurre con los ATI's.

Sin embargo, la creación de un ATC no es una novedad en España, ya que esta opción ya fue planteada en el pasado y terminó siendo un fracaso. En el año 2004, se aprobó iniciar el proceso que permitiese construir un ATC en España, el cual se pretendía que entrase en funcionamiento en el año 2011. No obstante, no fue hasta el año 2009 cuando se inició el proceso de selección del municipio en el que se emplazaría este almacén. Finalmente, en 2011 se aprobó que este almacén residiría en Villar de Cañas, una localidad de Cuenca, pero nunca se llegó a iniciar la construcción del ATC en esta localidad. Una vez se decidió definitivamente que se encontraría en esta localidad, se iniciaron una serie de sucesos que finalmente llevaron a que, en el año 2020, el gobierno descartara definitivamente que esta fuese

la localización del ATC. Estos sucesos fueron muy diversos. Primero, una vez seleccionados los terrenos en los que se encontraría el almacén, los informes técnicos revelaron que estos terrenos no poseían las características más adecuadas para este tipo de almacén, por lo que se requeriría una inversión mayor a la presupuestada para compensar los inconvenientes del terreno. Posteriormente, el gobierno autonómico de Castilla – La Mancha elaboró sucesivas leyes diseñadas específicamente para bloquear el inicio del proceso de construcción del almacén, lo que desencadenó una guerra judicial entre la administración nacional y la autonómica, debido a la diferente percepción de una y otra en cuanto a la conveniencia de construir este almacén. A esto se le debe sumar las diversas opiniones que se generaron en la localidad y sus alrededores, unas que defendían la construcción del ATC y otras que lo repudiaban. Finalmente, a inicios del año 2020 se decidió que no se llevaría a cabo la construcción del ATC en la localidad de Villar de Cañas (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Foro Nuclear, 2020) (Enresa, 2020) (Enresa, s. f.) (Page, 2020).

Independientemente de los hechos pasados, la realidad es que en la actualidad aún se plantea la posibilidad de construir finalmente un ATC. Sin embargo, debido al elevado retraso en su construcción, existen voces del sector tanto a favor de su construcción como en contra por considerarlo innecesario a estas alturas.

Por un lado, existen declaraciones realizadas por el presidente de la Sociedad Nuclear Española, Javier Guerra, en las que indica que es necesario y de gran beneficio para el sector que el ATC sea construido y puesto en funcionamiento lo antes posible. Esto se debe a que los ATIs actualmente utilizados, a pesar de ser una gran solución, no es el mejor ni en términos de tiempo de almacenamiento ni en términos económicos, ya que cuanto más se pretenda alargar su uso necesitarán mayores inversiones. Considera además que la mejor medida es la de un ATC en lugar de un ATD, principalmente por motivos económicos y de seguridad (Page, 2020).

Por otro lado, el presidente de Foro Nuclear, Ignacio Araluce, aunque reconoce los grandes beneficios que aportaría al sector la construcción del ATC, entiende que debido al gran retraso que sufre este proyecto ya no sería necesaria su construcción. Este argumenta que debido a que las centrales nucleares han tenido que desarrollar sus propios ATI's, estos proporcionan suficiente nivel de almacenamiento para los residuos existentes y futuros, aunque pueda ser necesario realizar más inversiones

sobre estos en el futuro. Además, debido a la experiencia sufrida en cuanto al retraso en los plazos que se vivió desde el primer momento con el ATC de Villar de Cañas, considera que podría darse el caso de que las centrales nucleares se hubiesen desmantelado y aún no estuviese operativo el futuro ATC, por lo que se debería seguir usando los ATI's como método de apoyo (Ojea, 2019).

Por tanto, aunque existen planes en cuanto al futuro de la energía nuclear, estos no son totalmente precisos. En base a lo tratado a lo largo de este apartado, se podrían poner dos ejemplos. El primero de ellos es que gran parte de la decisión de desmantelar las centrales nucleares españolas depende de que exista suficiente potencia instalada proveniente de fuentes renovables. Si no se posee esta capacidad energética, es totalmente inviable cerrar las centrales nucleares ya que no se contaría con otra fuente energética de este calibre, a no ser que se optase por las centrales que se basan en la combustión de combustibles fósiles, algo muy negativo en términos ecológicos y que provocaría el incumplimiento de los planes de reducción de emisiones. El segundo hace referencia a la gestión de los residuos radiactivos procedentes del desmantelamiento de las centrales nucleares. Este proceso de desmantelamiento no puede iniciarse sin un proyecto claro en cuanto a donde serán almacenados estos residuos, es decir, antes de comenzar este proceso debe estar perfectamente proyectado si existirá un ATC en funcionamiento para depositar esos residuos o si por el contrario las centrales nucleares deben ampliar su capacidad de almacenamiento en forma de ATI's.

4.2. Análisis Económico.

En este apartado se realizará un análisis diferenciando entre los aspectos relacionados con el entorno microeconómico y el macroeconómico. En cuanto al entorno microeconómico, se tratarán aspectos relacionados con el mercado eléctrico, es decir, la influencia de la energía procedente de las centrales nucleares en el mismo. Respecto al entorno macroeconómico, se tratarán aspectos relativos a la influencia de las centrales nucleares en la economía general del país, así como empleo generado y su capacidad para generar empresas relacionadas con el propio proceso productivo de las centrales nucleares.

4.2.1. Entorno microeconómico. Mercado eléctrico español.

El mercado eléctrico, también conocido como pool eléctrico, se basa en que debe existir mayor capacidad de generación de energía que el máximo de energía que se pueda llegar a consumir. Esto es consecuencia de que en la actualidad no existen métodos para almacenar energía a un nivel tan elevado como la producción eléctrica de un país. Todo esto lleva a que el mercado eléctrico vaya evolucionando de forma instantánea, ya que en función de la demanda en cada momento se va ajustando la producción de energía eléctrica.

Para que el mercado puede comenzar a funcionar con una cierta precisión, Red Eléctrica Española dispone de un sistema de predicción de gran nivel, que permite predecir la demanda diaria con cierto nivel de exactitud, aunque nunca de forma perfecta. Una vez realizadas las estimaciones, el Operador del Mercado Ibérico (OMIE) se ocupa las negociaciones y subastas de energía eléctrica.

De forma diaria, los productores de energía eléctrica ponen a la venta para cada hora del día siguiente su energía eléctrica, a un precio impuesto por ellos mismos y que se encuentra controlado dentro de unos márgenes mínimos y máximos. De igual forma, tanto las empresas comercializadoras de energía eléctrica como consumidores realizan ofertas de compra a los productores. Una vez realizado este proceso, en función del precio de venta impuesto por los productores y del precio de compra ofrecido por los consumidores y comercializadoras, se calcula el punto de equilibrio entre la oferta y la demanda. Este punto de equilibrio determinará el precio de la electricidad para cada hora del día.

La forma en la que los productores establecen un precio de venta depende principalmente de la forma de obtener la energía eléctrica. En el caso de los productores que emiten CO₂ al generar energía eléctrica, ofrecen esta energía a un precio relativamente elevado debido a los impuestos que se deben pagar por las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, los productores que usan fuentes renovables establecen unos precios muy bajos ya que sus instalaciones tienen unos costes variables bajos, es decir, la verdadera inversión en renovables se realiza al crear la instalación ya que después no es necesario tener en cuenta otros gastos como la compra de combustible. Además, la mayoría de las energías renovables cuentan con la posibilidad de jugar con los costes de oportunidad. Por ejemplo, para el caso de una central hidráulica regulable, esta no sufre ningún tipo de coste al no

producir electricidad, por lo que podría ser beneficioso para ella reservar su producción de electricidad para un momento del día en el que exista mayor demanda de electricidad, lo que supondría que obtendría unos beneficios más elevados debido al mayor precio de la energía. Sin embargo, para el caso de una central nuclear, esta no puede tener en cuenta los costes de oportunidad, ya que si no vende la electricidad que ha producido, no puede almacenarla de ninguna forma. A esto se le debe de sumar que una central nuclear no cuenta con la posibilidad de dejar de producir, ya que estas deben mantenerse dentro de unos determinados márgenes de producción debido al funcionamiento de los reactores nucleares. Por tanto, las centrales nucleares se ven obligadas a vender su producción, independientemente del precio que vayan a recibir por la venta de la electricidad.

El coste de oportunidad es un elemento muy importante dentro del mercado eléctrico español, ya que este se trata de un mercado marginalista. Esto significa que los productores de electricidad lanzarán sus ofertas a un determinado precio, unos a un precio más elevado que otros. Sin embargo, el precio final al que se vende la energía será el precio de mercado que depende del punto de equilibrio, por lo que habrá productores que cobrarán menos del precio que inicialmente habían asignado a su producción y otros que, al contrario, cobrarán más.

Este mercado marginalista provoca que los productores de electricidad no establezcan sus precios en función de los costes fijos y variables de sus instalaciones con el objetivo de cubrirlos y recibir un determinado margen de beneficios, sino que se basan en sus costes de oportunidad. El coste de oportunidad en el caso del mercado eléctrico se calcularía en función de los costes fijos y variables si no se generase energía, junto con los ingresos a los que se renuncia por no producir. En el momento en el que mayor demanda energética exista, mayor sería el coste de la electricidad, por lo que los beneficios que se dejarían de recibir al no producir serían mayores. Así, en el momento de mayor demanda el coste de oportunidad será mayor, lo que provocará que el precio que los productores pongan a la electricidad sea más caro (Fernández Munguía, 2021) (Nabalia Energía, 2018) (Muñoz Barrios, 2021). En el caso de las centrales nucleares, además de verse limitadas debido al tipo de mercado existente en España, sufren una carga fiscal bastante elevada, por lo que el

margen de beneficios de estas se reduce aún más de lo que provoca el propio mercado (De Benito, 2020).

Sin embargo, existe un aspecto en el que las centrales nucleares, junto con centrales de combustibles fósiles y algunas renovables, como las hidráulicas, salen beneficiadas respecto al resto de competidores. En el año 1996 se aprobó la Directiva 96/92/CE, lo que significaba que las centrales eléctricas pasarían de recibir un precio fijo por su producción a un precio de mercado, según el procedimiento explicado anteriormente. Esto provocó que las centrales eléctricas construidas antes de 1999 sufriesen un cambio de situación, es decir, se construyeron en base a una determinada rentabilidad establecida mediante los precios fijos iniciales y, debido al cambio de normativa, el precio que empezaron a recibir por su producción podía poner en riesgo el plan de inversión inicial considerado por la empresa. Para compensar a las empresas afectadas, se crearon los Costes de Transición a la Competencia (CTC), los cuales fueron empleados por España y otros países de la Unión Europea. En el caso español (Ley 54/1997) los CTC consistían en un pago por diferencia, en el que se establecía un valor de 36€/MWh a recibir por las centrales eléctricas beneficiadas, de forma que si el precio de mercado era inferior a este valor se pagaría a las centrales la diferencia correspondiente. No obstante, en el caso de que el precio establecido por el mercado fuese superior a los 36€/MWh, las centrales no se verían obligadas a devolver la cantidad sobrante. Debido a esto, todas las centrales nucleares españolas, junto a hidroeléctricas, centrales de carbón, etc., se vieron beneficiadas en cuanto al precio de venta de su energía producida.

Esta compensación fue finalmente suprimida en el año 2006, debido a que se estimó que las centrales beneficiadas ya habían recibido el dinero suficiente como para compensar su amortización calculada en el momento de ser construidas. Y no solo eso, además se estimó que estas centrales habrían recibido una sobrecompensación total de 3.396 millones de euros. Debido a esto se creó una Orden Ministerial para que se recuperasen dichos beneficios extra, pero esta no fue aprobada a tiempo, de manera que según la ley vigente la exigencia de devolución ha prescrito (Rodríguez, s. f.).

Todo lo analizado anteriormente supone que hoy en día en el funcionamiento del mercado eléctrico exista cierta desigualdad. De igual forma que las centrales

nucleares sufren una excesiva carga fiscal, se pueden incluir dentro del grupo de centrales eléctricas en explotación que recibieron ayudas para cubrir su amortización junto con unos grandes beneficios extra que no se contemplaban. Esto provoca que las centrales que se construyeron después del año 1999 se encuentren en una desventaja competitiva, ya que además de sus costes variables deben cubrir la amortización de sus costes fijos, principalmente la inversión inicial para construir la central. Así, las centrales que recibieron las ayudas CTC y que además debido al tipo de central que sean tienen unos costes variables bajos (energía hidráulica y nuclear) pueden ofrecer unos precios de venta muy bajos, que se verán sobrepasados por el punto de equilibrio obtenido debido a los precios altos ofrecidos por otras centrales con costes variables altos y en proceso de amortización (Comisión de expertos de Transición Energética, 2018).

4.2.2. *Entorno microeconómico. Demanda y producción de energía eléctrica.*

A la hora de tratar el aspecto económico de un sector, es de total relevancia prestar atención a su nivel productivo. El sector energético español ha sufrido a lo largo del año 2020 una situación atípica debido a la pandemia existente. Durante este año, en España se ha producido una disminución media de la demanda de energía eléctrica de alrededor de un 5.6%, alcanzándose picos de una reducción de hasta el 17% de la demanda durante los meses de confinamiento domiciliario general. Esta información concreta se puede consultar en la Tabla 4, la cual se ha extraído de la base de datos de Red Eléctrica de España.

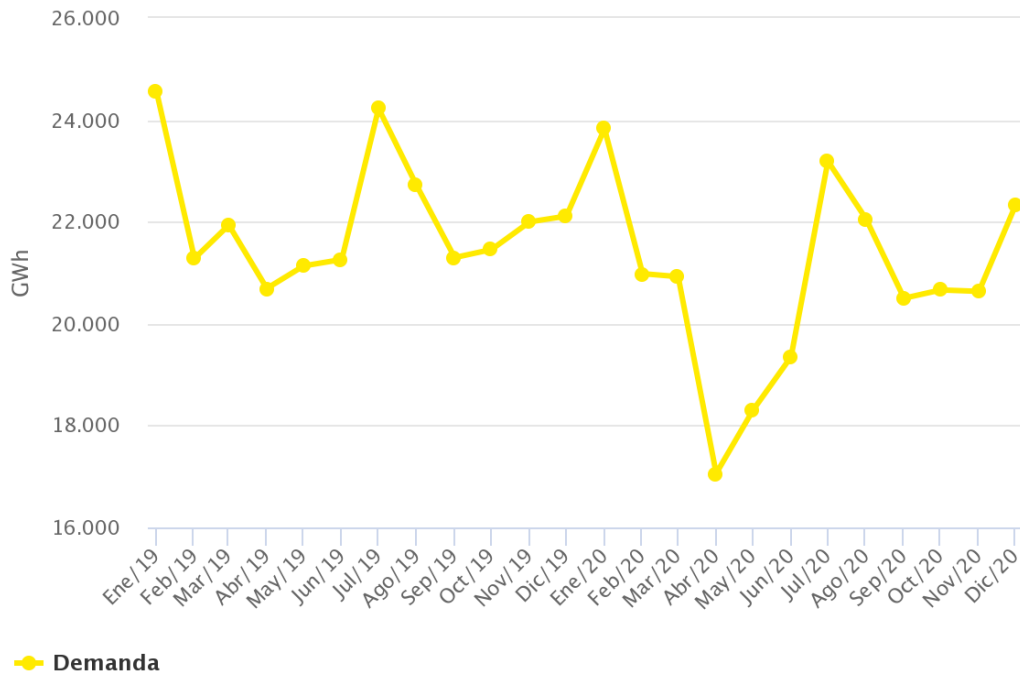
Tabla 4. Demanda de Energía eléctrica en España durante el año 2020.



Fuente: <https://www.ree.es>

Como información extra para visualizar de mejor forma estos datos, se aporta la Tabla 5 que muestra la evolución de la demanda eléctrica nacional entre los meses de enero de 2019 y diciembre de 2020, pudiendo comparar así la demanda entre 2019 y 2020 a nivel mensual.

Tabla 5. Demanda eléctrica en España (Período 01/01/2019 – 31/12/2020).



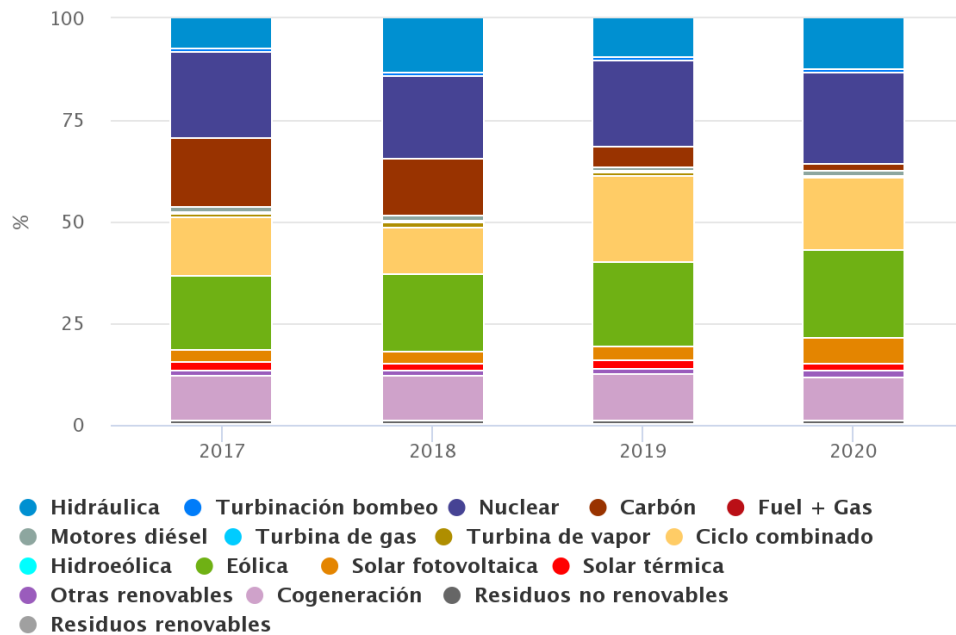
Fuente: www.ree.es

Fuente: [https://www.ree.es](http://www.ree.es)

De la Tabla 5 se puede apreciar la reducción de la demanda de una forma mucho más visual. Es destacable la gran diferencia que se extrae en la demanda entre el mes de abril del año 2019 (20.692 GWh) y del año 2020 (17.059 GWh), lo que supone una diferencia en la demanda del 17,56%.

En cuanto al nivel productivo, el sistema eléctrico español ha sufrido unos cambios significativos en los últimos años, destacando la mayor producción procedente de fuentes renovables, así como la disminución de las centrales de combustión de carbón, las cuales tenían una importancia significativa hasta hace muy poco. En la Tabla 6, se puede apreciar el porcentaje de energía eléctrica generada en España entre los años 2017 y 2020, en función de la tecnología utilizada.

Tabla 6. Fuentes de producción de energía eléctrica en España entre los años 2017 y 2020.



Fuente: www.ree.es

Fuente: <https://www.ree.es>

Para poder analizar la evolución reciente de la producción de energía eléctrica, resulta de gran interés fijarse, por ejemplo, en que durante el año 2017 la energía nuclear contribuyó en un 21.2% a la generación de energía eléctrica, seguida muy de cerca por la eólica (18.3%) y el carbón (17.2%). Además, es importante mencionar a la energía hidráulica (7%) como otra gran productora entre las fuentes renovables, así como al ciclo combinado (14.1%) y a la cogeneración (10.8%), ya que estas podrían tener una elevada importancia en un futuro a medio o largo plazo en el que no se encuentren disponibles las centrales nucleares españolas. Si se compara este año 2017 con los tres años posteriores, se puede apreciar como la evolución más destacada ha sido la relativa a la energía procedente del carbón, ya que en solo tres años ha sufrido una gran reducción, alcanzando unos niveles actuales del 2% a nivel productivo general, es decir, en tres años el uso del carbón para la producción de electricidad se ha reducido alrededor de un 88.85%, habiendo estado durante años anteriores a 2017 con una producción muy estable. Esta reducción ha sido principalmente compensada por el avance de la energía hidráulica (12.2%), de la eólica (21.9%) y de la solar (6.1%), que ha duplicado su producción. En cuanto a la energía nuclear, se ha mantenido siempre en unos niveles estables de producción acorde con la potencia instalada existente, suponiendo en el año 2020 un 22.2% (Red

Eléctrica de España, 2020) (REData - Estructura generación, 2017) (REData - Estructura generación, s. f.).

Además, se debe tener en cuenta que el 3% de la potencia instalada en España proviene de un sistema de interconexión, que une las redes eléctricas de España con las de Marruecos y Francia. Esta interconexión permite satisfacer parte de la demanda eléctrica, aunque en la actualidad se encuentra a un nivel muy bajo, ya que la Unión Europea tiene entre sus planes que cada país posea un 15% de su potencia proveniente de la interconexión para el año 2030 (Nabalia Energía, 2018).

Una vez se han mostrado los datos más relevantes en cuanto a producción de energía eléctrica, resulta interesante mostrar otra comparación entre la energía nuclear y el resto de las tecnologías usadas. Según los datos ofrecidos por Foro Nuclear en el año 2019, la energía nuclear es la mayor productora de energía eléctrica, algo ya mostrado anteriormente. Sin embargo, resulta destacable que además de encontrarse a la cabeza en producción, es una de las fuentes de generación con menor capacidad instalada, como puede apreciarse en la Tabla 7.

Tabla 7. Potencia instalada de cada tecnología eléctrica en España.

	2018	2019
Renovables y residuos	51.895	58.375
Hidráulica ⁽¹⁾	20.380	20.416
Eólica ⁽²⁾	23.478	25.753
Solar ⁽³⁾	7.011	11.015
Otras renovables ⁽⁴⁾	864	1.031
Residuos renovables	162	160
Cogeneración y residuos no renovables	6.237	6.178
Térmica convencional ⁽⁵⁾	38.804	38.414
Nuclear	7.117	7.117
TOTAL	104.053	110.084

Fuente: <https://www.foronuclear.org>

Si estos datos de potencia instalada se analizan junto con los de producción, se llega a la conclusión de que la energía nuclear posee un rendimiento excepcional, ya que con un 6.47% de potencia instalada sobre el total existente en España, en el año

2019 fue la responsable del 21.41% de la producción de energía eléctrica. Además, dentro del grupo de fuentes de energía que no emiten contaminantes, la energía nuclear produjo un 36.15% de esta (Foro Nuclear, 2019).

4.2.3. Entorno macroeconómico.

En la actualidad, hay una evidente falta de información y de transparencia en cuanto a los datos económicos y financieros de las centrales nucleares. Existen multitud de artículos periodísticos que invitan a pensar que la energía nuclear es la fuente de energía más barata y, por otro lado, existen otros artículos que indican la total inviabilidad económica de mantener abiertas las centrales nucleares y el elevado coste de estas para la sociedad española.

En base a esta situación, la única información que puede considerarse imparcial y que no busca favorecer o perjudicar a la energía nuclear es la mostrada a continuación. Se trata de la aportación al PIB de la industria relacionada con la energía nuclear, aunque la información más reciente que puede encontrarse es del año 2013. Toda la información mostrada a continuación ha sido extraída de un estudio elaborado por la consultora PWC en colaboración con Foro Nuclear, titulado Impacto Socioeconómico de la Industria Nuclear en España (PwC España & Foro Nuclear, 2015).

Para comenzar, en la Tabla 8 se muestran los datos sobre contribución al PIB español realizado por la industria nuclear.

Tabla 8. Contribución al PIB español realizado por la industria nuclear.

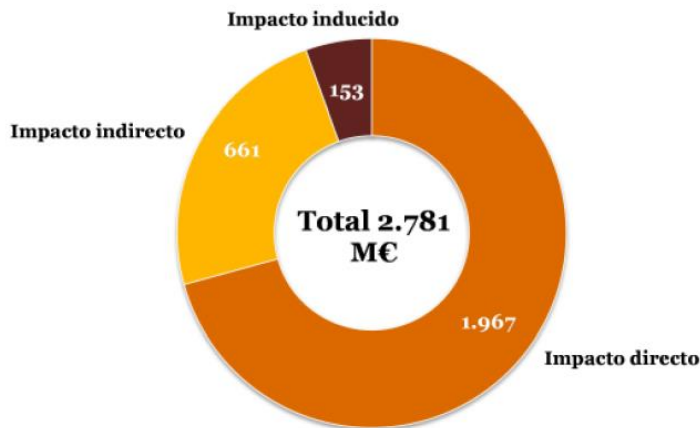
TIPO DE CONTRIBUCIÓN	CONTRIBUCIÓN (M€)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL
TOTAL	2.781	0.27%
DIRECTA	1.967	0.19%

Fuente: Impacto Socioeconómico de la Industria Nuclear en España.

Dentro de la aportación al PIB del sector nuclear, se puede profundizar en mayor medida en el tipo de impacto sobre el mismo. Los impactos sobre el PIB se pueden clasificar en tres tipos, los cuales también se muestran de forma esquemática en la Ilustración 4:

- Directos. Aportación al PIB correspondiente a la remuneración de los empleados, a los impuestos asociados a sus actividades y al margen bruto.
- Indirectos. Aportación al PIB realizada por los distintos sectores en los que repercute el sector nuclear.
- Inducidos. Aportación al PIB asociada al consumo de bienes y servicios debido al sueldo de los trabajadores.

Ilustración 4. Aportación al PIB de la industria nuclear.



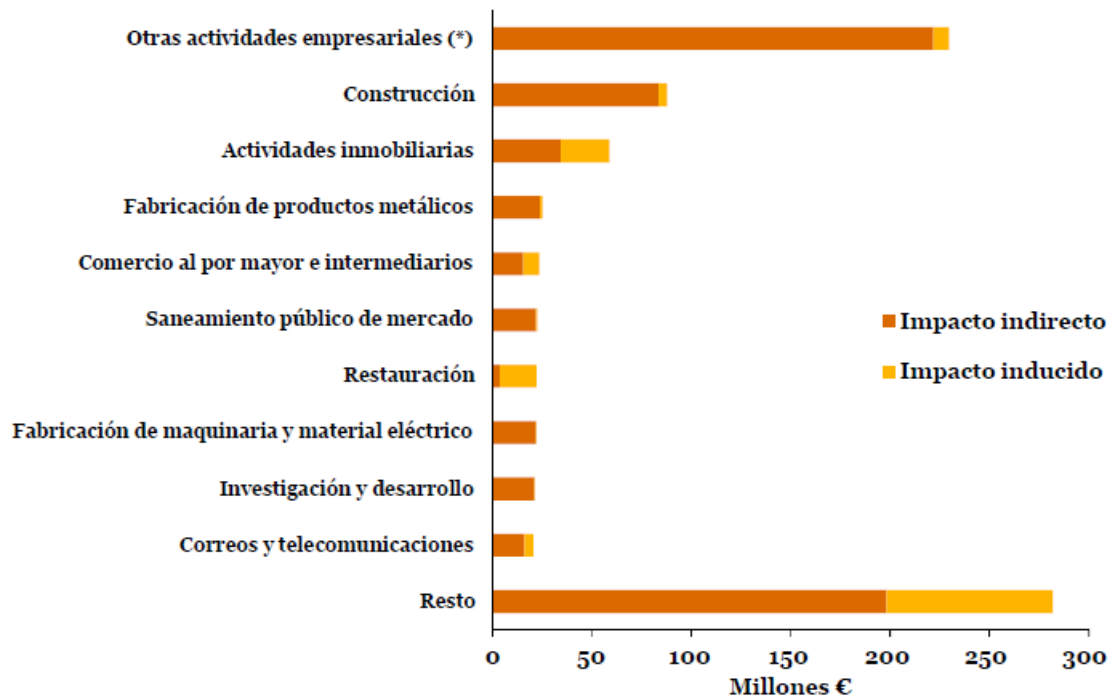
Fuente: Impacto Socioeconómico de la Industria Nuclear en España.

Para que estos datos se comprendan mejor y puedan entenderse con una mejor perspectiva, podrían compararse con los de otros sectores. En relación con la contribución directa al PIB de la industria nuclear, esta equivale al 75% de la realizada por el transporte aéreo, al 30% de la realizada por el sector industrial textil y del calzado y al 15% de la industria química. En cuanto a la contribución total al PIB, la relativa a la industria nuclear supone un 106% de la realizada por el transporte aéreo, un 30% de la realizada por la fabricación de vehículos motorizados y un 14% de la realizada por el sector de las telecomunicaciones.

Dentro de los sectores sobre los que repercute la industria nuclear, hay algunos que reciben un gran impacto económico, como se puede apreciar en la Tabla 9. De esta información se obtiene que el sector más beneficiado es el de otras actividades empresariales, el cual incluye, citado textualmente, “actividades jurídicas, de contabilidad, asesoramiento y consultoría, servicios técnicos de ingeniería, servicios de vigilancia, protección y seguridad y actividades industriales de limpieza”. Además, cabe destacar que el impacto indirecto benefició especialmente a sectores que poseen

una gran influencia en I+D, lo que significa que son sectores con un valor añadido muy elevado.

Tabla 9. Impacto de la industria nuclear en diferentes sectores económicos.

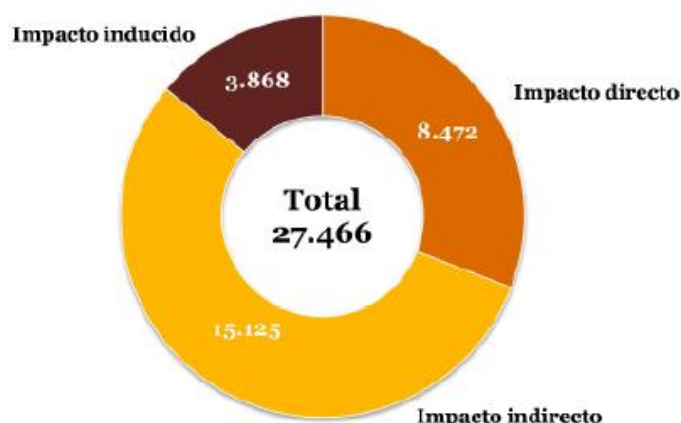


Fuente: Impacto Socioeconómico de la Industria Nuclear en España.

En cuanto al empleo generado por el sector nuclear, se muestra que este es de una gran estabilidad, ya que, si se comparan los datos de 2013 con los de 2019, se puede apreciar que el número de empleos asociados es prácticamente idéntico, en torno a 28.000 trabajadores. Profundizando en las estadísticas de 2013, este empleo, igual que la aportación al PIB, puede clasificarse según el tipo de impacto, el cual se muestra en la Ilustración 5:

- Directo. Número de personas empleadas dentro de las empresas que forman parte de la industria nuclear.
- Indirecto. Número de personas empleadas en empresas proveedoras de la industria nuclear y que forman parte de su cadena de valor.
- Inducido. Número de personas empleadas a causa del sueldo recibido por los trabajadores del sector.

Ilustración 5. Aportación al PIB de los trabajadores de la industria nuclear.

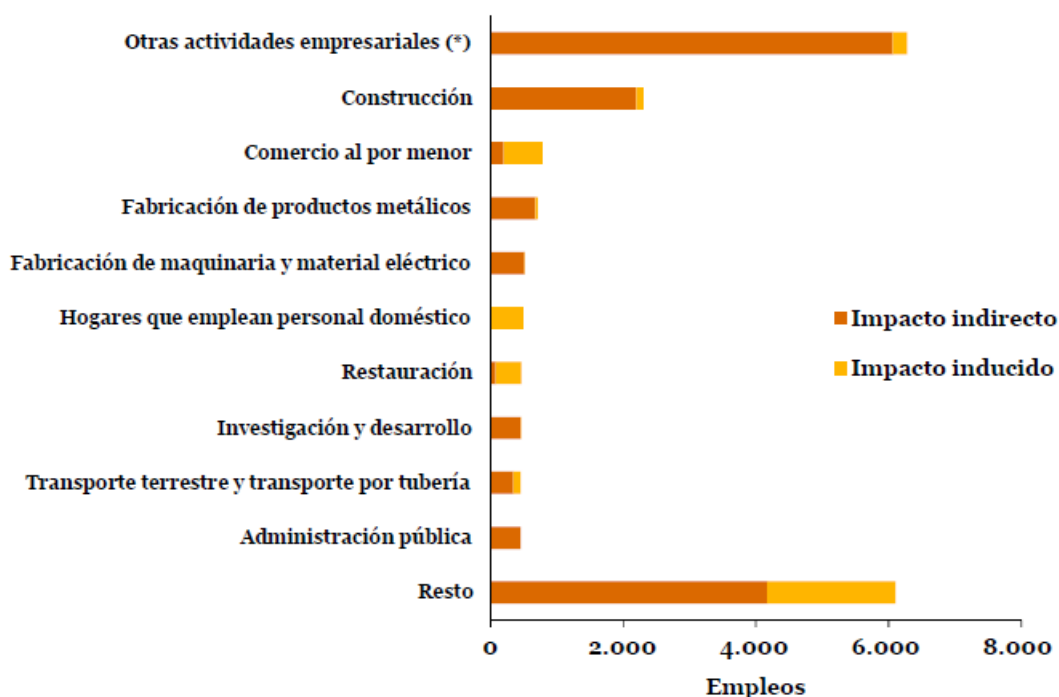


Fuente: Impacto Socioeconómico de la Industria Nuclear en España.

Al igual que con la aportación al PIB, estos datos de empleo pueden ser comparados con los de otros sectores. La creación de empleo total asociada a la industria nuclear supone un 65% de la creada por la industria textil, un 65% de la creada por la fabricación de productos electrónicos y un 20% de la creada por el sector de las telecomunicaciones.

En cuanto a los sectores más beneficiados en términos de generación de empleo indirecto e inducido, estos pueden apreciarse en la Tabla 10.

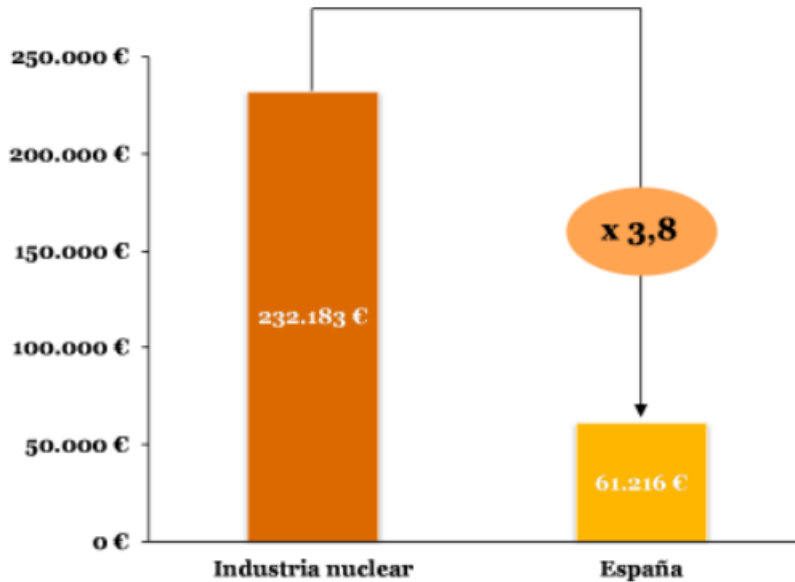
Tabla 10. Impacto de los trabajadores de la industria nuclear en diferentes sectores económicos.



Fuente: Impacto Socioeconómico de la Industria Nuclear en España.

Finalmente, en la Tabla 11, se muestra la aportación directa al PIB por empleado, la cual muestra que en la industria nuclear esta es muy superior a la media existente en España, llegando a ser de alrededor de 3,8 veces mayor.

Tabla 11. Comparativa general de la aportación al PIB por empleado de la industria nuclear.



Fuente: Impacto Socioeconómico de la Industria Nuclear en España.

4.2.4. La energía nuclear y su repercusión en la economía futura.

En base al informe elaborado por la Comisión de Expertos sobre Escenarios de Transición Energética, se obtienen diferentes resultados relacionados con los efectos en la economía de las diferentes medidas que se tomen en relación con la producción de energía eléctrica, siendo estas medidas representadas en diferentes escenarios hipotéticos. Los resultados son:

- La energía primaria se define como “la energía suministrada al edificio procedente de fuentes renovables y no renovables, que no ha sufrido ningún proceso previo de conversión o transformación. Es la energía contenida en los combustibles y otras fuentes de energía e incluye la energía necesaria para generar la energía final consumida, incluyendo las pérdidas por su transporte hasta el edificio, almacenamiento, etc”. Siguiendo esta definición de energía primaria, la no extensión de la vida útil de las centrales nucleares más allá del cierre previsto actualmente supondría un ahorro de un 42.8%. Es necesario remarcar que este ahorro es debido a que, si se aumenta la vida útil de las centrales nucleares, es

necesario realizar diferentes inversiones para actualizar las instalaciones de estas. Por tanto, si las centrales nucleares cerrasen esto supondría un ahorro al no deberse realizar esta inversión (¿Qué es la energía primaria según el nuevo CTE?, 2020).

- En el caso de que las centrales nucleares no aumentasen su vida útil, la energía eléctrica que dejase de ser producida por estas sería compensada a través del gas natural. En este caso, el coste medio de la energía final, es decir, la que se consume por los usuarios, aumentaría en un 2%.
- Debido igualmente al uso de gas natural en lugar de energía nuclear, se produciría un aumento del 21% en el coste de generación de electricidad (sin tener en cuenta el coste de la extensión de la vida útil de las centrales nucleares ni el coste de la construcción o ampliación de instalaciones relativas al gas natural).

4.2.5. *Industria auxiliar relacionada con las centrales nucleares.*

Como en toda industria, las centrales nucleares se nutren de un grupo de empresas pertenecientes al sector nuclear, las cuales intervienen en las diferentes partes de la cadena productiva. A continuación, se analizarán algunas de estas empresas, de forma que se obtenga una mejor perspectiva sobre toda la industria que engloba al sector nuclear, y no solo se tenga en mente la idea individualizada de la propia central nuclear (Foro Nuclear, 2019).

Como primera industria a mencionar, cabe destacar la Fábrica de Elementos Combustibles de Juzbado, situada en Salamanca. Esta empresa opera desde el año 1985 y es propiedad de ENUSA. Esta fábrica tiene como razón de ser la fabricación de los elementos combustibles que se utilizan dentro de los reactores nucleares, con capacidad para fabricar 500 toneladas de combustible al año. Sin embargo, no solo se dedica a la fabricación del combustible, sino que también abarca otros aspectos como pueden ser el almacenamiento del combustible, su logística y distribución, así como la fabricación de equipos para las centrales nucleares. Además, esta fábrica se encuentra enlazada con seis laboratorios dedicados a los controles de calidad del combustible, así como a verificar que se cumplen con las medidas de seguridad de los trabajadores que se encuentran fabricando combustible nuclear. Cabe destacar

que esta fábrica no solo proporciona combustible nuclear a las centrales nucleares españolas, sino que también exporta a otros países como Bélgica, Francia y Suecia.

Otras de las empresas destacadas del sector nuclear español son:

- Amphos 21, una consultoría enfocada a proporcionar planes y soluciones en temas relativos al medio ambiente, la economía y la sociedad. Esta no solo se encuentra implicada con el sector español, sino que también trabaja de forma internacional con países como Suecia, Francia, Bélgica, Finlandia, Estados Unidos, Japón y Taiwán (Amphos21, 2021).
- CEN Solutions, una empresa especializada en equipos de seguridad y labores de mantenimiento. Esta realiza las tareas de mantenimiento preventivo en las centrales nucleares españolas, además de poseer departamentos de I+D+i que desarrollan nuevos equipos que mejoran los ya existentes. Esta empresa también trabaja internacionalmente, suministrando diferentes componentes a centrales nucleares extranjeras, como las de Eslovenia, y participa en ITER.
- Centro Tecnológico de Componentes (CTC). Este centro es una fundación privada, que ofrece servicios de ingeniería y experimentación relacionados con mantenimiento, robótica y materiales. En el sector nuclear ha participado en la fabricación de componentes para reactores de tercera y cuarta generación, así como el diseño de equipos, análisis de estructuras y materiales, etc.
- Coapsa, una empresa especializada en grúas especiales y que es la encargada de mejorar y realizar el mantenimiento de todas las grúas situadas en las centrales nucleares, las cuales son unos de los elementos más importantes en los procesos de recarga del combustible.
- Empresarios Agrupados, una organización de ingeniería la cual trabaja principalmente en elaborar y desarrollar los proyectos de modernización y modificación del diseño de las centrales, así como el aumento de su potencia y vida útil. Esta también trabaja en el ámbito internacional, ofreciendo sus servicios en países como Italia, Noruega, Bélgica y participa en los procesos de seguridad de ITER.
- Ensa, una empresa pública especializada en la fabricación de elementos de la central nuclear, como las vasijas del reactor, los generadores de vapor o los

intercambiadores de calor. También participa en las tareas de mantenimiento y desmantelamiento de las instalaciones, así como en su descontaminación.

- Enwesa Operaciones, una empresa pública dedicada al mantenimiento de plantas eléctricas, trabajando en los procesos de parada por recarga de combustible.
- GD Energy Services (GDES), un grupo empresarial cuya labor se encuentra especializada en el mantenimiento, la protección contra la radiactividad (limpieza y descontaminación) y el desmantelamiento de las centrales nucleares. Actualmente trabaja con centrales nucleares españolas y francesas, y es la encargada del revestimiento interior del edificio del reactor que se desarrolla en ITER.
- Geocisa, empresa que dentro del ámbito nuclear se encuentra especializada en las medidas radiológicas y radioquímicas, con el objetivo de determinar si se emite radiación al exterior desde las centrales nucleares o las dosis recibidas por los trabajadores.
- Ringo Válvulas, una empresa dedicada a la fabricación de válvulas, dentro de las que se incluyen las que se encuentran en el interior de las centrales nucleares. Esta ha proporcionado equipos a centrales nucleares de 22 países.
- Virlab, una empresa dedicada a realizar ensayos de vibraciones. Su labor en las centrales nucleares consiste principalmente en comprobar la resistencia sísmica de componentes de las centrales, en países como España, Francia, Bélgica, Inglaterra y Eslovenia.

4.3. Análisis Social.

La energía nuclear y el uso de centrales nucleares sigue generando hoy en día un gran debate. Existen multitud de posturas respecto a este tema. En primer lugar, existen opiniones que basadas en aspectos científicos, técnicos y en experiencia profesional, justifican y exaltan las ventajas de la energía nuclear, pero quizás dejen un poco de lado las preocupaciones de parte de la sociedad, a la que en ocasiones le cuesta comprender ciertos temas, sobre todo los de origen científico y tecnológico como es la energía nuclear, que requieren de cierta base de conocimientos. Por otro lado, existen opiniones que, de una forma completamente radical, y basándose en exageraciones y el uso de información sesgada, manipulan a parte de la sociedad que

no posee los suficientes medios y conocimientos como para contrastar la información que reciben, provocando un fuerte rechazo al sector de estudio.

4.3.1. Encuestas sobre la percepción de la energía nuclear en España.

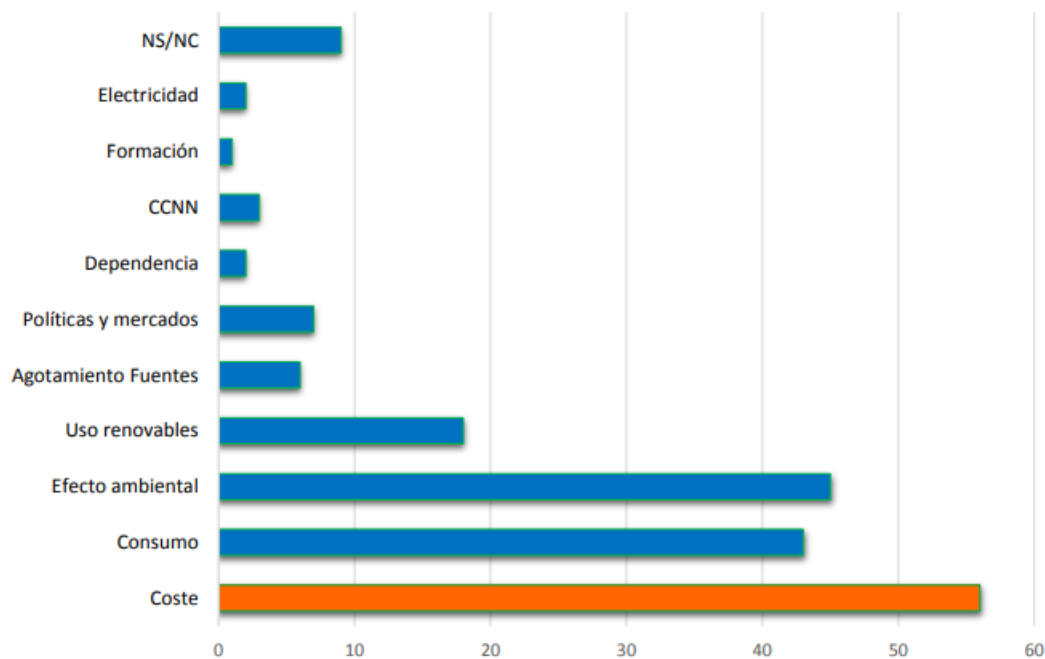
La información respecto a la percepción social de la energía y las centrales nucleares vuelve a ser, igualmente que en la información económica, escasa y dispersa en el tiempo. Una de las pocas fuentes de información es la encuesta elaborada en conjunto por el CIS y el Eurobarómetro en el año 2011 (Espluga et al., 2017). Resulta preciso indicar que esta encuesta se realizó antes del accidente producido en la central nuclear de Fukushima, debido al terremoto y posterior tsunami producidos el 11 de marzo del año 2011. De esta encuesta se puede destacar el siguiente resultado:

- El 73% de los encuestados afirmaron que perciben las centrales nucleares como un riesgo importante para ellos y sus familias. Este dato puede compararse con los obtenidos en los países integrantes de la UE, donde el porcentaje medio de encuestados que dieron esta respuesta fue del 52%. Por tanto, la oposición de la sociedad española a las centrales nucleares es ampliamente superior a la media europea.

Junto a la encuesta anterior, cuatro años más tarde, Foro Nuclear elaboró una nueva encuesta (Foro Nuclear, 2015), aportando esta un análisis en mayor profundidad que la mostrada anteriormente. Los resultados obtenidos serán analizados a continuación.

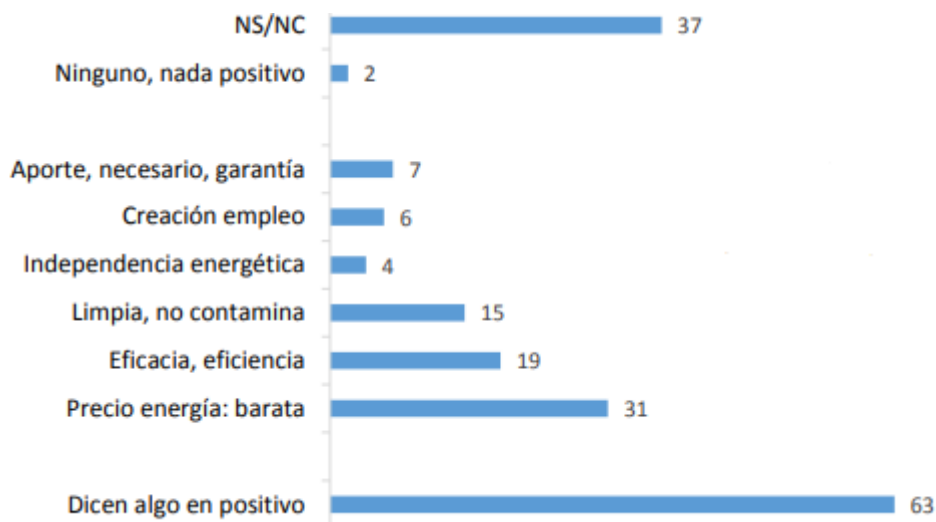
Para comenzar, es necesario indicar que la principal preocupación de los encuestados respecto a la energía eléctrica fue su coste, en el sentido del precio de la factura de la luz pagada por los ciudadanos. El coste fue seguido por el efecto ambiental y el consumo. Estos resultados se pueden apreciar con mayor detalle en la Tabla 12.

Tabla 12. Principales preocupaciones de los españoles sobre energía.

Fuente: <http://www.amac.es>

En cuanto a la percepción inicial sobre la energía nuclear, se preguntó a los encuestados que indicasen dos aspectos positivos de la energía nuclear (Tabla 13) y dos aspectos negativos de la misma (Tabla 14).

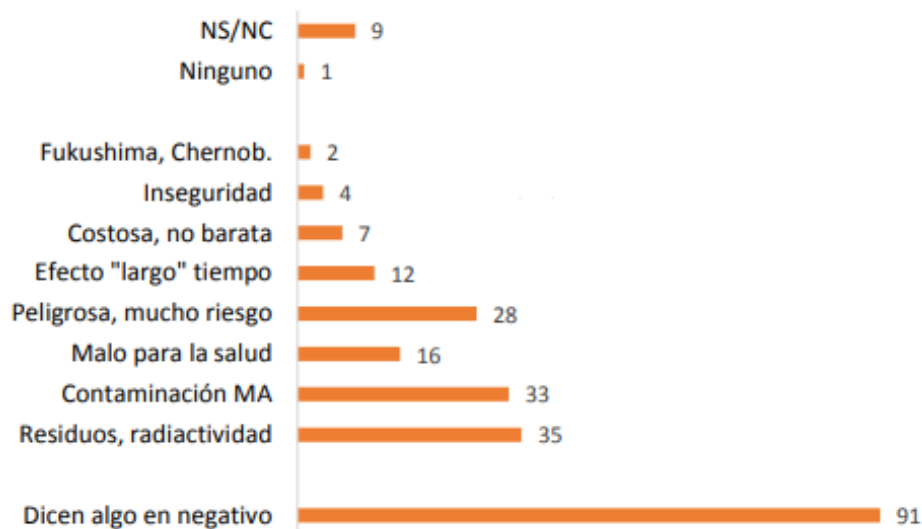
Tabla 13. Percepción de aspectos positivos de la energía nuclear.

Fuente: <http://www.amac.es>

En cuanto a los resultados sobre los aspectos positivos de la energía nuclear, lo más destacable es que solo el 4% considera que genera independencia energética y que solo el 7% considera que la energía nuclear es necesaria y entienden que su aporte a la red eléctrica es relevante. Esto es algo que muestra completamente la

desinformación que existe, ya que como se ha tratado anteriormente, la energía nuclear es la mayor aportadora a la red eléctrica española en términos de producción (22.2% sobre el total). Otro aspecto para tener en cuenta es que solo el 19% de los encuestados identifican la energía nuclear como eficaz y eficiente, algo llamativo si se recuerda que la energía nuclear supone solo un 6.47% de la potencia instalada, pero aporta la mayor cantidad de energía eléctrica. Otra respuesta relevante es que solo el 15% de los encuestados consideran la energía nuclear como limpia y no contaminante. Esto es algo que se tratará más adelante en el análisis ecológico, pero es cierto que existen diferentes motivos para considerar a la energía nuclear como limpia, ya que no emite gases de efecto invernadero, pero es una realidad que esta genera residuos radiactivos que deben ser almacenados y que pueden resultar peligrosos si no existiesen suficientes medidas de seguridad. Otra respuesta llamativa es que el 31% de los encuestados consideran a la energía nuclear barata, siendo cierto que es una energía que permite un mejor precio para el consumidor en la factura eléctrica.

Tabla 14. Percepción de aspectos positivos de la energía nuclear.



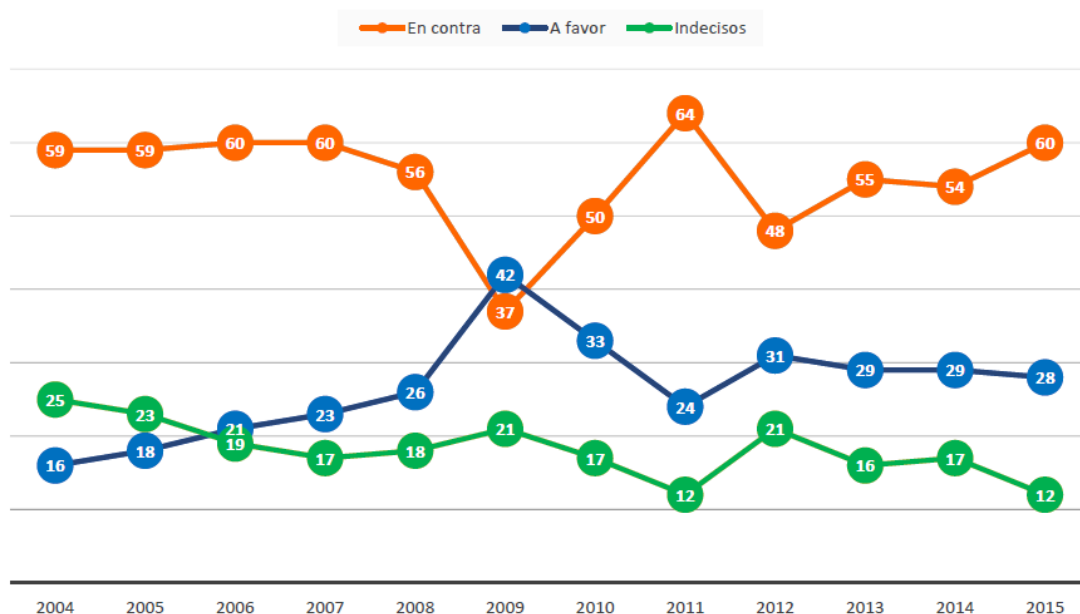
Fuente: <http://www.amac.es>

Respecto a los resultados sobre comentarios negativos relativos a la energía nuclear, las mayores preocupaciones de la población son las relacionadas con la generación de los residuos radiactivos, la cual destacan el 35% de los encuestados. También destacan el 33% de encuestados que consideran que se contamina el medio ambiente y el 28% que consideran que la generación de electricidad a partir de energía nuclear es una actividad peligrosa y que supone un elevado riesgo. Es totalmente

comprensible que la mayor preocupación existente sea relativa a los residuos generados, pero resulta llamativo que las centrales nucleares sean percibidas tan peligrosas en la opinión pública.

En cuanto al posicionamiento de la población, en la Tabla 15 se muestran los resultados de porcentaje de población que se encuentra a favor, en contra o son indecisos en cuanto al uso de centrales nucleares. En dicha tabla, también se puede apreciar la evolución de estos resultados desde el año 2004 hasta el 2015, momento en el que se realizó la encuesta. Se puede apreciar como el porcentaje de encuestados que se encuentra en contra de las centrales nucleares se mantiene relativamente estable, salvo por un descenso considerable en el año 2009, único año en el que el número de encuestados a favor supera a los que se encuentran en contra. El porcentaje de encuestados a favor ha sufrido ciertos altibajos hasta estabilizarse durante los últimos cuatro años.

Tabla 15. Actitud de los españoles hacia la producción de electricidad en las centrales nucleares.



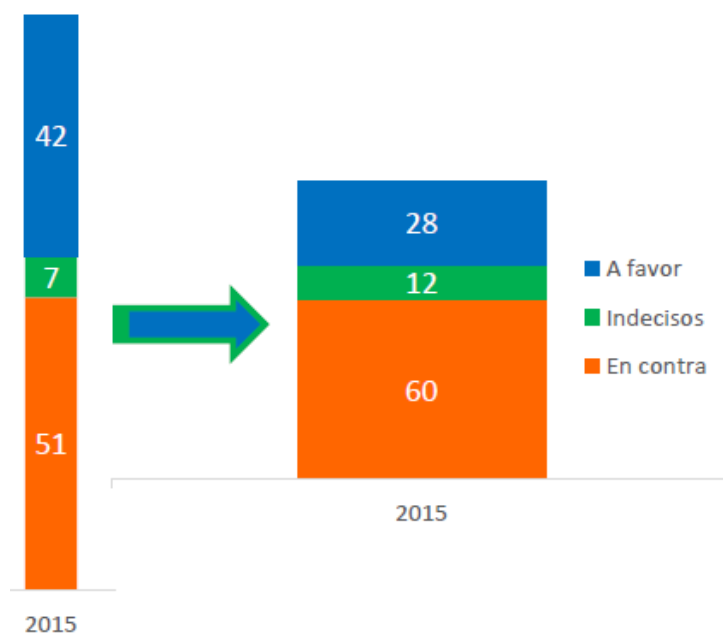
Fuente: <http://www.amac.es>

Una vez analizados estos datos, en los que los encuestados contestaron a las preguntas en función de sus conocimientos previos sobre el ámbito de la energía y las centrales nucleares, resulta de gran interés analizar el resto de las preguntas que se realizaron en la encuesta. Estas nuevas preguntas van acompañadas de un aporte de información para el encuestado, de forma que, si no conocía datos concretos sobre el

tema de estudio, pudiese tener un conocimiento mayor sobre el mismo y así poder expresar una opinión más contrastada.

Si los encuestados son informados sobre el porcentaje de energía eléctrica que es aportada por las centrales nucleares a la red eléctrica, se produce un cambio significativo en el posicionamiento analizado en la tabla anterior. Los encuestados a favor de las centrales nucleares aumentan considerablemente a costa de la reducción del porcentaje que se posicionaba en contra o era indeciso. Esto se muestra en la Tabla 16. A la izquierda se pueden observar los nuevos resultados de la encuesta después de que los encuestados conozcan esta información, en comparación con los resultados iniciales, que se muestran resumidos a la derecha.

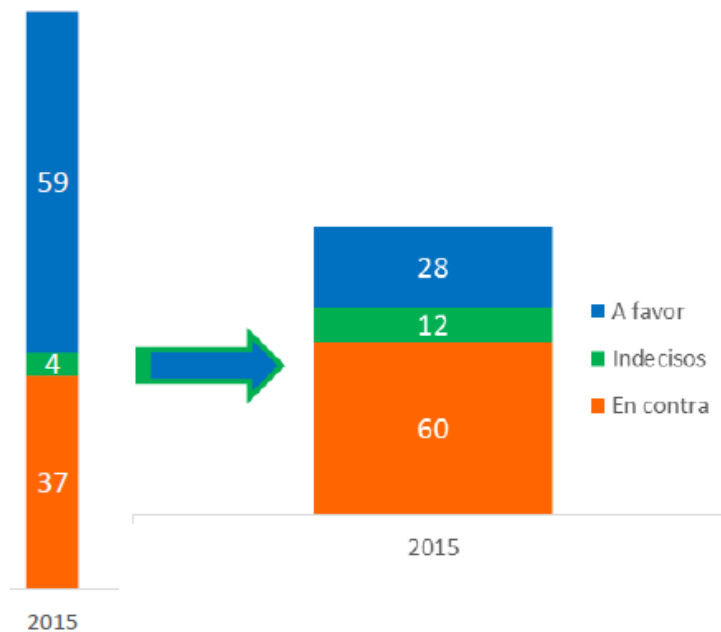
Tabla 16. Posición de los españoles antes las centrales nucleares tras conocer su aportación al sistema eléctrico.



Fuente: <http://www.amac.es>

Si los encuestados son informados sobre que las centrales nucleares son limpias en términos relativos a que no emiten gases de efecto invernadero, los resultados son aún más sorprendentes. Se produce un cambio radical en la aceptación de las centrales nucleares, siendo más del doble de encuestados los que se posicionan a favor de estas que cuando no poseían datos, reduciéndose en gran medida el número de indecisos y de posicionados en contra. Al igual que en la pregunta tratada en el párrafo anterior, en la Tabla 17 se pueden apreciar los nuevos resultados en comparación con los obtenidos inicialmente.

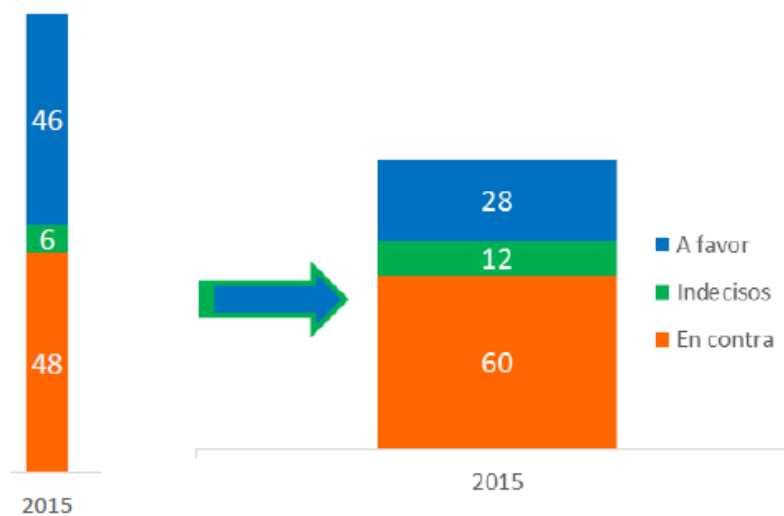
Tabla 17. Posición de los españoles antes las centrales nucleares tras conocer que no emite gases de efecto invernadero.



Fuente: <http://www.amac.es>

Si de nuevo se pregunta a los encuestados por su posicionamiento, pero en este caso en función de que existiese un Almacén Temporal Centralizado (ATC) que permitiese una mejor gestión de los residuos nucleares, el porcentaje de posicionados a favor de la energía nuclear aumenta. Sin embargo, los resultados arrojan que la existencia de un ATC no es comprendida como una solución en cuanto a los residuos nucleares, ya que existe prácticamente el mismo porcentaje de posicionados a favor como en contra, como se muestra en la Tabla 18.

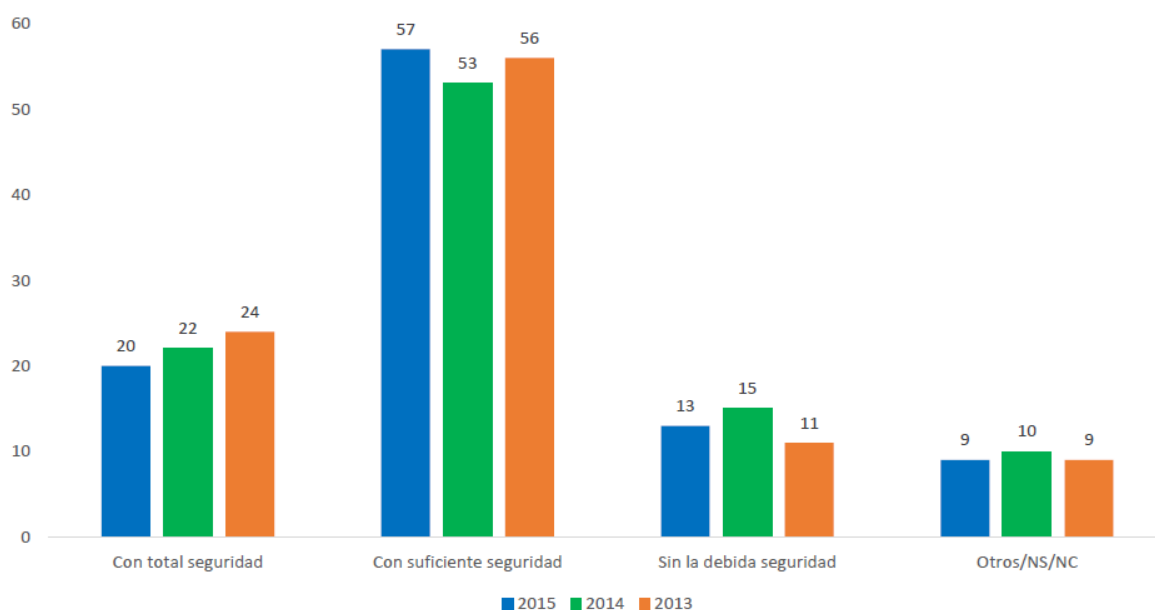
Tabla 18. Posición de los españoles antes las centrales nucleares si existiese un plan definitivo relativo a la gestión de los residuos.



Fuente: <http://www.amac.es>

Continuando con el análisis de esta encuesta, es el momento de tratar los aspectos relativos a la percepción de la seguridad de las centrales nucleares. En primer lugar, los resultados obtenidos en cuanto a con que seguridad se opera en las centrales nucleares muestran los siguientes datos ofrecidos en la Tabla 19. En ella se puede apreciar una comparativa en los resultados en cuanto a los dos años anteriores. Cabe destacar que la opinión en lo relativo a este tema es buena, con un total del 77% de los encuestados que consideran con total o suficiente seguridad.

Tabla 19. Percepción sobre la seguridad de las centrales nucleares españolas.

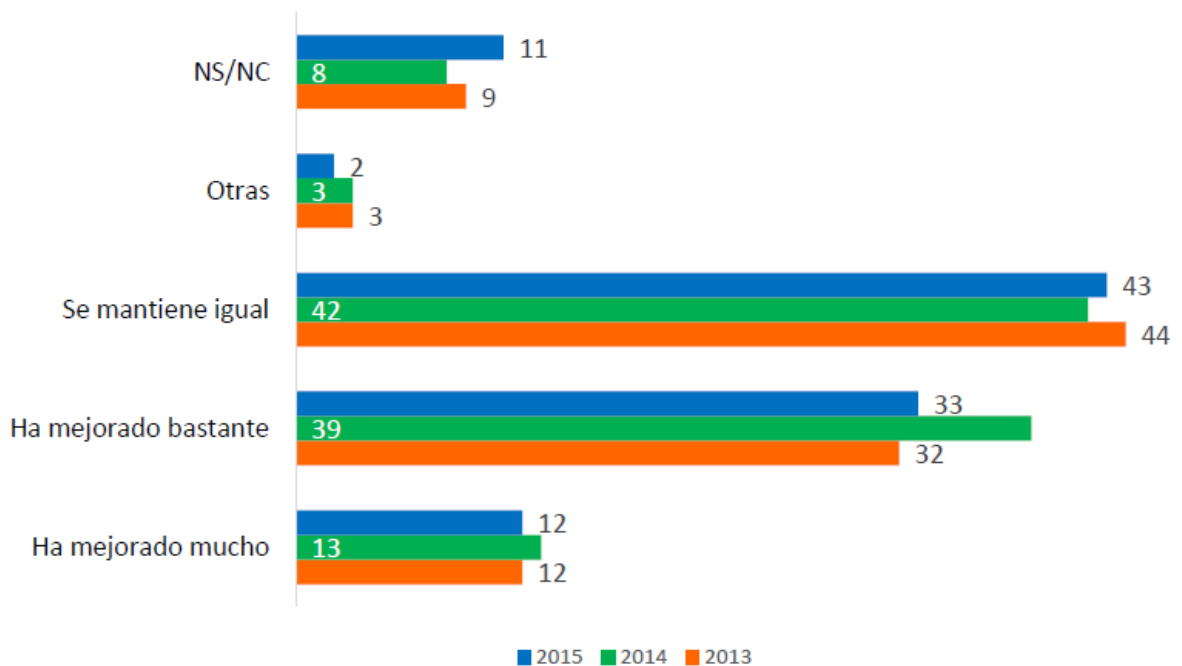


Fuente: <http://www.amac.es>

La otra pregunta de la encuesta relativa a la seguridad dentro de las centrales nucleares trata sobre si el accidente ocurrido en la central nuclear de Fukushima había repercutido en los niveles de seguridad de las centrales nucleares, en el sentido de haber incrementado mucho o bastante los niveles de seguridad, o si por el contrario no había provocado ninguna modificación en los sistemas de seguridad. Los resultados ofrecidos en la Tabla 20 muestran que más o menos existe un equilibrio entre la población que considera que la seguridad nuclear ha aumentado bastante o mucho y quienes consideran que no se ha producido ninguna mejora en seguridad. Lo cierto es que de estos resultados se puede extraer que existe una parte de la población que desconfía de los organismos encargados de la gestión de las centrales nucleares, ya que no se considera que un accidente pueda desencadenar una serie de inspecciones y estudios que ayuden a determinar las causas del suceso y posibles acciones correctoras. Esto es algo que dentro del mundo de la tecnología y la

ingeniería se encuentra a la orden del día, ya que cualquier problema o accidente siempre va acompañado de un análisis exhaustivo que permita identificar sus causas y posibles formas de evitar. Esto ocurre, por ejemplo, en el mundo del automovilismo de competición. Cuando ocurre un accidente grave que pone en riesgo la seguridad de un piloto, se inicia una investigación que acaba suponiendo cambios en la normativa de diseño de los vehículos o casco de los pilotos, así como cambios en las protecciones existentes en los circuitos y el diseño de su trazado. Todos estos cambios se realizan con el objetivo de que una situación similar no vuelva a ocurrir, y si lo hace sus efectos sean menos dañinos para el afectado. Por tanto, al igual que lo que ocurre en el ejemplo mostrado y que resulta una acción lógica, ocurre con los accidentes en centrales nucleares. Posteriormente, en el análisis tecnológico, se tratarán los accidentes que se han producido en centrales nucleares y como estos se han traducido en importantes mejoras para la seguridad de estas.

Tabla 20. Percepción sobre mejoras en la seguridad de las centrales nucleares tras el accidente de Fukushima.



Fuente: <http://www.amac.es>

Finalmente, los últimos datos que se pueden extraer de esta encuesta son los siguientes:

- La mayor parte de la población considera que la industria nuclear solo se ocupa, además de a la producción de energía, a la gestión de residuos y al estudio y uso

de la medicina nuclear. Sin embargo, como ya se trató en el análisis económico, no se conocen muy bien las grandes empresas tecnológicas que surgen alrededor de esta industria.

- Como se ha podido comprobar, la aceptación al uso de centrales nucleares sufre un considerable cambio cuando los encuestados reciben datos reales y técnicos sobre su uso y aportación a la red eléctrica. Esto demuestra que es un debate en el que hay una gran ausencia de información, por lo que sería necesario informar más y mejor a la población para que la opinión pública sea más contrastada y representativa de la realidad.

4.3.2. Influencia de las asociaciones ecologistas y las noticias falsas.

Las asociaciones ecologistas son hoy en día una de las principales fuentes de influencia sobre la población, en términos de lucha contra el cambio climático y protección de los ecosistemas. Por tanto, su postura a favor o en contra de diferentes cuestiones provoca que parte de la sociedad, que las considera como referencia en estos ámbitos, posea una opinión similar a la de estas asociaciones. En la actualidad, existen asociaciones ecologistas posicionadas claramente a favor del uso de la energía nuclear, mientras que otras niegan rotundamente que esta sea una opción favorable para la protección del medioambiente.

En cuanto a las asociaciones que defienden el uso de la energía nuclear, estas siguen el denominado eco modernismo. Este defiende que, para proteger el medioambiente de los impactos provocados por las actividades humanas, los propios humanos deben utilizar toda la tecnología disponible que permita la protección de este. Así, se posicionan a favor de diferentes tecnologías, como son la energía nuclear y, por ejemplo, los alimentos transgénicos. El eco modernismo considera que la energía nuclear supone un pilar fundamental en la construcción de un futuro en el que la energía eléctrica provenga de fuentes con un mínimo impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero. Así, las centrales nucleares, junto con las plantas fotovoltaicas e hidroeléctricas, además de las tecnologías futuras capaces de captar CO₂, serían quienes permitan llegar a una sociedad mucho más respetuosa con el medioambiente.

Por otro lado, existen asociaciones claramente posicionadas como antinucleares, como es el caso de Greenpeace. Esta, al ser considerada tradicionalmente como la asociación ecologista por excelencia, posee una influencia sobre la sociedad mucho mayor que cualquier otra asociación ecologista diferente. La diferencia principal entre Greenpeace y otras asociaciones basadas en el eco modernismo reside en el tipo de información en el que basan sus mensajes a la población. El eco modernismo utiliza información que ha sido y será tratada a lo largo de este trabajo, como por ejemplo la eficacia de la energía nuclear o la evidente realidad de que esta no emite gases de efecto invernadero durante la producción de energía, así como los mínimos problemas relacionados con la radiactividad siempre que se sigan cumpliendo todas las medidas de seguridad existentes en la actualidad. Sin embargo, cuando se busca información sobre Greenpeace y su posicionamiento antinuclear, se puede captar cierta tendencia a basar su información en unos aspectos muy dramatizados.

Sin ir más lejos, la web oficial de Greenpeace, en sus publicaciones relativas a la energía nuclear, ya muestra esta forma de informar citada en el párrafo anterior. De esta forma, menciona que la edad de las centrales nucleares, las cuales consideran como envejecidas, multiplica las posibilidades de que se produzcan accidentes nucleares como los ocurridos en Chernóbil o Fukushima. Esto es solo una suposición catastrofista, ya que como se tratará en el análisis tecnológico, la operatividad de las centrales nucleares se basa en un análisis de seguridad y del estado de las centrales sin precedentes, siendo posiblemente uno de los sectores con mayor control sobre su actividad. Por otro lado, también se exagera desmesuradamente en cuanto a los productos radiactivos procedentes de la fisión nuclear. Se llega a citar que los residuos se mantienen radiactivos durante cientos de miles de años, siendo esta una información completamente sobredimensionada y tergiversada, algo que se comprobará en el análisis ecológico (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Ecomodernism, 2019) (Greenpeace, s. f.).

A parte de la información anterior, resulta apropiado rescatar una noticia que en este caso salpicó a la asociación Ecologistas en Acción. Varios miembros de esta asociación informaron a los medios sobre que habían encontrado en los aledaños de la ya inutilizada central nuclear de Santa María de Garoña, “un pez que había sufrido

reacciones mutagénicas a causa de la radiactividad de las aguas, así como hortalizas de un tamaño superior a la media debido a que habían sido regadas con agua contaminada con isótopos radiactivos”. Además de informar a los medios, pretendieron publicar su hallazgo en la prestigiosa revista Science. Esta noticia se lanzaba a los medios de comunicación días de antes de que se ejecutase una manifestación ya convocada en contra de la citada central nuclear. Sin embargo, posteriormente la propia asociación afirmó que se trataba de una noticia falsa o fake news, con la que se pretendía dar un golpe de efecto sobre la percepción del riesgo de las centrales nucleares. Años después de esta noticia, antiguos miembros de la asociación reconocieron que los discursos catastrofistas y alarmantes calan mucho mejor en la sociedad y dan más visibilidad a los ideales de quienes los lanzan, por lo que son la principal forma de expresarse de estas asociaciones. También reconocieron que la información que suelen ofrecer se encuentra muy sesgada, resulta exagerada y no se apoya en ningún tipo de método científico (Noviembre de 2003. El caso del pez mutante, 2008).

Lo cierto es que esta acción no fue un golpe de efecto, sino una acción premeditada que, a sabiendas de que se trataba de una información falsa, buscaba manipular la opinión de la sociedad y posicionarla en contra de la energía nuclear. Las denominadas fake news son un grave problema en la actualidad, agravado por el elevado uso de las redes sociales que permite que los contenidos de estas se distribuyan muy rápidamente. Las fake news son noticias falsas, en las que destaca el sensacionalismo sobre la información veraz. Según un estudio realizado por Twitter en colaboración con el MIT, se determinó que las fake news son retuiteadas un 70% más de veces que las noticias que contienen información verdadera, real y contrastada. En la red social Twitter, los usuarios pueden colgar tuits, que son pequeños textos con un número limitado de caracteres. Cuando un usuario retuitea un tuit, está compartiendo este tuit con todos sus seguidores, por lo que una diferencia del 70% de retuits entre noticias falsas y reales supone que se multiplica exponencialmente el número de usuarios que reciben este tipo de noticias fraudulentas. Este estudio también mostró que a las noticias reales les cuesta seis veces más tiempo hacerse llegar a 1.500 personas que a las fake news. El problema reside en que este tipo de noticias afectan a la forma de pensar de la población, ya que si esta no posee información anterior relativa al tema tratado o no posee la

capacidad de contrastar la información que recibe, su forma de pensar dependerá de la información falsa que haya recibido. Como consecuencia de esto, se acaba obteniendo una polarización de la opinión pública, ya que los creadores de fake news y su entorno acaban creando una especie de comunidad, en la que todos los miembros de esta acaban rechazando informaciones contrarias a su posicionamiento ideológico, pero apoyando de forma fanática cualquier información o publicación que apoye la forma de pensar de la comunidad (Estudio de Comunicación & Servimedia, 2018) (Universidad Rey Juan Carlos & Curiel Correa, 2013).

Toda esta información sobre fake news se muestra ya que, como se ha expuesto anteriormente, normalmente los sectores antinucleares se basan en principios muy sensacionalistas que repercuten de una forma mucho más profunda sobre la población, ya que a diferencia de los sectores pronucleares que suelen apoyarse normalmente en estudios y datos científicos, los primeros buscan repercutir sobre la emoción de las personas y no sobre su razón.

Finalmente, en base a todos los datos expuestos al inicio del análisis social, se podría deducir la importancia que tiene la información que recibe la población, ya que como se mostró en la encuesta elaborada por Foro Nuclear, gran parte de la población partía al inicio de la encuesta de una oposición acérrima a la energía nuclear. Sin embargo, al ir recibiendo información basada en datos reales y contrastados que buscaban llamar a su razón y no a sus sentimientos, se obtenía una respuesta algo más neutra en cuanto a la opinión relativa a la energía nuclear.

4.4. Análisis Tecnológico.

Como ya ha sido mencionado anteriormente, en este análisis tecnológico se tratarán diferentes aspectos relacionados con la tecnología de las centrales nucleares. Uno de los principales temas a tratar será como se han producido mejoras en las centrales nucleares debido a los diferentes accidentes que han ocurrido en ellas, así como las grandes inspecciones que se realizan sobre ellas y que permiten ampliar su vida útil siempre que se tomen las medidas adecuadas. Además, se tratarán aspectos que mostrarán como la inversión en investigación relacionada con la tecnología nuclear no es solo beneficiosa para la producción de energía en las centrales

nucleares, sino que también tiene grandes aplicaciones a otros niveles, como es el caso de la medicina.

4.4.1. Los avances extraídos de los accidentes en las centrales nucleares.

Los principales accidentes producidos en centrales nucleares, ordenados cronológicamente, han ocurrido en Three Mile Island (1979), Chernóbil (1986) y Fukushima (2011). De todos estos, el más catastrófico fue el de Chernóbil, aunque como se tratará a continuación, este es precisamente el menos indicado para ser utilizado como arma en contra de las centrales nucleares, ya que el diseño de esta central nuclear y las maniobras que se ejecutaron y que provocaron el accidente fueron claramente una temeridad.

Three Mile Island.

La central nuclear de Three Mile Island, localizada en Pensilvania (EE.UU), estaba formada por dos reactores PWR, es decir, de agua a presión. Uno de estos reactores, en el que no se produjo el accidente, siguió en funcionamiento hasta 2019, desde que entrase en funcionamiento en el año 1974.

Este accidente se produjo básicamente por un problema de diseño del reactor de la central. Un fallo en el circuito secundario provocó la parada de la turbina y debido al diseño del reactor, al estar la turbina parada no llegaba agua al evaporador. Para subsanar este problema, existía un circuito de agua auxiliar que permitiría introducir agua en el evaporador. No obstante, este sistema también falló por un mal alineamiento de las válvulas. A todos estos problemas se les debe añadir otros fallos que se produjeron en los sensores de algunas válvulas del reactor, que llevaron a la confusión de los operarios en el proceso de refrigerar el reactor mediante los medios de emergencia disponibles. Esta situación desembocó en la ausencia de suficiente agua en el reactor como para cubrir el núcleo de este, de forma que se produjo un gran aumento de la temperatura y parte del núcleo se fundiese. Finalmente, los operarios fueron capaces de solucionar los diferentes problemas y cubrir el reactor con agua, logrando que la central entrase en parada en condiciones de seguridad.

A efectos prácticos, la consecuencia de la popularmente conocida fusión del núcleo fue que el oxígeno y la aleación de las barras de combustible interactuaron por medio de una reacción química, que produce hidrógeno. Para poder eliminar este hidrógeno del circuito primario, se realizaron purgas que permitieron que el gas escapase. La principal preocupación es que este gas es radiactivo, al haberse producido dentro del núcleo del reactor. Sin embargo, gracias al edificio de contención dentro del que se ubica el circuito primario y el reactor, que permite que se encuentre aislado y que cuenta con diferentes sistemas de filtros para evitar que se ceda contaminación radiactiva al ambiente, las consecuencias no fueron graves.

En cuanto al núcleo del reactor, el material fundido no llegó a dañar la vasija que lo contenía, por lo que en ningún momento se filtró contaminación radiactiva al subsuelo, y por consiguiente, no se produjo ningún daño medioambiental grave.

Como es obvio, de este accidente se obtuvieron muchísimas advertencias sobre que era necesario mejorar en la seguridad de todas las centrales nucleares en funcionamiento y en el diseño de las posteriores. Así, se producirían cambios en los sistemas de válvulas de las centrales, así como mejoras en la formación de los operarios para saber hacer frente a una situación similar a través del uso de simuladores, lo que ha provocado que hoy en día los operarios de las centrales nucleares sean grandes profesionales, con unos procesos de selección y niveles de formación extraordinarios. A su vez, este accidente llevó a la creación del INPO (Institute of Nuclear Power Operations), que es el organismo encargado de establecer los estándares de seguridad en las centrales nucleares, así como de establecer los Procedimientos de Operación de Emergencia y crear las Guías de Gestión de Accidentes Severos (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021).

Chernóbil.

En cuanto al accidente ocurrido en la central nuclear de Chernóbil, la principal causa que llevó al desastre fue el mal diseño de la central, que se basaba en el uso de un reactor tipo RBMK. Este mal diseño significaba que la central se podía considerar como intrínsecamente insegura, es decir, debido al proceso y los mecanismos que utilizaba la central para realizar su labor, cuando se producía un aumento de la potencia del reactor se incrementaba la temperatura de este, lo que a

su vez provocaba que la potencia volviese a ascender. Por tanto, con este diseño, la central nuclear se retroalimentaba, lo que en una situación de peligro podría provocar que el reactor nuclear fuese imposible de controlar por los operarios, como finalmente sucedió cuando los encargados de la central nuclear se aventuraron a realizar una determinada prueba de funcionamiento dentro de la central. Además de esta situación, ya peligrosa de por sí, es de gran importancia indicar que esta central nuclear no poseía un edificio de contención, que como se mostró en el accidente de Three Mile Island, evitó grandes problemas. Ante la ausencia de edificio de contención, cuando se produjo una explosión debido a la gran cantidad de vapor acumulado en el reactor, se expulsó parte de los elementos que se encuentran en el interior del reactor al exterior, como por ejemplo parte de los elementos combustibles y de las barras de control. Además de esto, el reactor quedó al descubierto, por lo que emitía radiación directamente al exterior, lo que suponía una gran fuente de contaminación.

De este accidente, la industria nuclear pudo aprender varias cuestiones.

La primera de ellas es que el edificio de contención no puede faltar en ninguna central nuclear, ya que es capaz de evitar que accidentes en el interior de la central nuclear afecten al exterior y viceversa.

La segunda es que este tipo de reactores RBMK no son seguros y su uso es peligroso. Estos reactores solo eran utilizados en la antigua Unión Soviética, ya que eran de diseño propio e inicialmente fueron diseñados para producir plutonio con el objetivo de crear bombas atómicas. A raíz del accidente se les realizaron modificaciones para mejorar su seguridad. Lo cierto es que estos reactores solo se encuentran en funcionamiento actualmente en Rusia, y todos los organismos internacionales relacionados con la energía nuclear ya han mostrado en varias ocasiones su preocupación en torno al uso de estos reactores, ya que a pesar de las modificaciones se consideran menos seguros que los reactores PWR o BWR. La realidad es que ciertos países poseen una actitud muy poco enfocada a entablar buenas relaciones internacionales, por lo que toman sus propias decisiones que ponen en riesgo los intereses globales, como es el caso del uso de estos reactores nucleares.

La tercera y última es la creación de WANO (World Association of Nuclear Operators), un organismo del que forman parte todas las empresas propietarias de centrales nucleares, y que tiene por objetivo mantener y mejorar los niveles de seguridad de las centrales, así como establecer un medio para que los encargados de las centrales nucleares puedan compartir sus experiencias con el objetivo de mejorar tanto los procesos como la seguridad (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Domínguez, 2011).

Fukushima.

El accidente de la central nuclear de Fukushima se produjo como consecuencia del terremoto de 9.1 grados y el posterior tsunami ocurrido en Japón el 11 de marzo de 2011. La central nuclear de Fukushima contaba con tres reactores, los cuales a consecuencia del terremoto fueron parados para evitar posibles problemas. Sin embargo, debido a que la red eléctrica en parte de Japón no se encontraba operativa y había frecuentes cortes en el suministro eléctrico, la central nuclear tuvo que hacer uso de generadores diésel de emergencia, los cuales proporcionarían la energía eléctrica suficiente para seguir operando dentro de la central nuclear y poder completar el procedimiento de parada. Sin embargo, el tsunami posterior al terremoto inundó la sala en la que se encontraban estos generadores, dejándolos inutilizados y a la central nuclear sin suministro eléctrico. Esto provocó que los operarios no pudiesen maniobrar sobre el reactor, de forma que se acabó produciendo la fusión del núcleo en los tres reactores y se produjeron varias explosiones de hidrógeno durante los tres días posteriores al terremoto, emitiéndose gran cantidad de materiales radiactivos al medioambiente.

A pesar de la gravedad de este accidente, lo cierto es que posteriormente al accidente se realizaron varios estudios para conocer el impacto que las emisiones radiactivas habían tenido sobre la salud de las personas. Al contrario de lo que cualquier persona podría suponer en un principio, las conclusiones fueron las siguientes:

Según el informe elaborado por la OMS en 2012, el cual fue realizado con estimaciones que maximizaban los resultados para así evitar subestimar el posible peligro, se llegó a la conclusión de que “no se prevé un aumento observable de cáncer

superior a las variaciones normales de las tasas basales”. A modo de ejemplo, se indica que el cáncer de tiroides, que es el tipo de cáncer que más puede aumentar y que afecta a la población (en especial a las mujeres) después de un accidente nuclear en el que se libera Yodo-131, no aumentaría de una forma considerable tras el accidente. Según los datos, el riesgo para una mujer de contraer cáncer de tiroides a lo largo de su vida es del 0.75%, aumentando este riesgo a un 1.25% en niñas que se encontrasen en fase de lactancia en el momento en el que se produjo el accidente y que viviesen en la zona que recibió mayor cantidad de radiación (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2013).

Según el informe elaborado por UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) en 2014, todos los habitantes de la zona de Fukushima recibirán a lo largo de su vida una dosis de 10 mS como consecuencia del accidente nuclear. Sin embargo, este dato no preocupa en ningún caso a los expertos en salud, ya que, si se compara con la radiación media recibida por la población por causas naturales, de unos 170 mS, no supone una diferencia sustancial (UNSCEAR, 2014).

Este accidente es del que más información y nuevas ideas se han extraído para mejorar la seguridad de todas las centrales nucleares del mundo. A modo de mencionar algunas, se muestra el siguiente listado:

- Construcción de helipuertos, que permitan tanto el transporte de personal como de equipos y material a la central nuclear en caso de que no se pueda acceder a través de los medios convencionales.
- Implementar dentro de los edificios de contención recombinaidores pasivos autocatalíticos (PAR), los cuales son unos equipos que producen agua a través de la recombinación del hidrógeno y el oxígeno. Esto disminuye la concentración de hidrógeno que puede dar lugar a explosiones.^{1,49} Así mismo, implementar de igual forma en el edificio de contención un sistema de filtrado, que permite despresurizarlo en caso de que fugas de gases puedan provocar que este pueda ceder por la presión.
- Sistema de inundación de la zona en la que se encuentra el reactor para refrigerarlo inmediatamente y evitar posibles sobrecalentamientos.

- Incrementar la resistencia de las centrales nucleares ante posibles terremotos, aunque estos no se contemplen como posibles en la zona en la que se ubique la central. Esto también resultaría útil en el caso de accidentes ajenos a la central nuclear, ya que reducirían su impacto sobre esta.

4.4.2. Reactores nucleares de cuarta generación.

En la actualidad, las centrales nucleares españolas pertenecen al denominado grupo centrales de segunda generación. Esta segunda generación solventaba la mayoría de los problemas que presentaban los reactores de primera generación. Sin embargo, como es habitual en la mayoría de las cuestiones tecnológicas, la experiencia basada en el uso de estos reactores junto con el avance de otras tecnologías, han permitido desarrollar nuevas ideas que dan lugar a mejoras muy significativas con respecto a los reactores de segunda generación. Esto no significa que los reactores de segunda generación sean peligrosos o ineficientes, ya que para que estos sigan en funcionamiento deben cumplir con toda la normativa vigente relativa a seguridad. Sin embargo, sí significa que la industria nuclear podría dar un salto de calidad en sus instalaciones y mejorar sus resultados.

Evidentemente, entre la segunda y la cuarta generación de reactores nucleares, existe la tercera generación. Sin embargo, los reactores que pertenecen a esta son los que se han construido en los últimos 20 años, por lo que en España no existe ningún reactor de esta generación. Esta tercera generación de reactores destacó por introducir los sistemas de seguridad pasivos, es decir, aquellos que funcionan en una situación en la que se pone en riesgo la seguridad, pero no necesitan que se les aporte energía eléctrica ni ser accionados manualmente, por lo que pueden funcionar independientemente de la situación que englobe al accidente. Esto se consigue haciendo que los sistemas de seguridad funcionen gracias a fenómenos físicos, como la gravedad, la presión, la temperatura, etc. (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (López, 2019).

Los reactores de cuarta generación, que aún se encuentran en fase de diseño y experimentación, tienen varios objetivos claros para mejorar los resultados que ofrecían sus predecesores. Estos objetivos son:

1. Reducir los costes asociados a la construcción y el mantenimiento de una central nuclear. Cuanto más rentable resulta la inversión, mayor número de centrales nucleares podrán construirse y con mayor rapidez se recuperará la inversión, además de reducir el coste de la factura eléctrica.
2. Garantizar la seguridad de las centrales nucleares que usen estos nuevos reactores, cumpliendo con todas las medidas de seguridad vigentes, así como incluyendo nuevos mecanismos de seguridad necesarios en los diseños más novedosos de estos reactores.
3. Mejorar la eficiencia de las centrales nucleares, produciendo la máxima energía posible reduciendo el consumo de combustible.

Una de las principales características de estos reactores es que buscan reducir considerablemente su tamaño en comparación con los reactores que ya se encuentran en funcionamiento. Es el caso de, por ejemplo, los reactores SMR (Small Modular Reactor). Estos reactores, los cuales tendrían una potencia de alrededor de 300 MWe, ofrecerían una mayor facilidad a la hora de construirlos, así como la posibilidad de la estandarización, lo que facilitaría de gran manera la fabricación de estos. Se podría pasar de construir reactores nucleares como los actuales, en los que son necesarios grandes proyectos de construcción y edificación, a una producción en cadena de estos pequeños reactores. Esta reducción en su tamaño provoca que estos nuevos reactores sean adecuados para ser transportados en determinados vehículos para ser llevados hasta su destino. Además, debido a sus sistemas de seguridad pasivos y a su fácil instalación, se considera que podrían llegar a instalarse en cualquier tipo de central sin necesidad de grandes inversiones en acondicionamiento. Podrían incluso instalarse en centrales de combustibles fósiles, aprovechando sus instalaciones y sustituyendo a los sistemas de combustión (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Foro Nuclear, 2020).

Otros de los diseños con mayores posibilidades de ser utilizados en el futuro son los siguientes:

- Reactor de muy alta temperatura (VHTR).
- Reactor rápido refrigerado por gas (GFR).
- Reactor rápido refrigerado por sodio (SFR).

- Reactor supercrítico refrigerado por agua (SCWR).
- Reactor rápido refrigerado por plomo (LFR).
- Reactor de sales fundidas (MSR).

4.4.3. Reactores de fusión nuclear.

En la actualidad, todos los reactores nucleares en uso, así como los que podrán empezar a utilizarse en el futuro cercano, los denominados reactores de cuarta generación se basan en la fisión nuclear. Sin embargo, en la actualidad se están llevando a cabo diferentes estudios y proyectos que tienen por objetivo construir un reactor que sea capaz de producir energía eléctrica a partir de la fusión nuclear.

La fusión nuclear es el mecanismo que se produce de forma natural en las estrellas, como es el caso del Sol. En él, los núcleos de los átomos de hidrógeno se fusionan entre sí, formando el siguiente elemento de la tabla periódica, el Helio. Este proceso libera radiación electromagnética, que se traduce en la luz y calor que la Tierra recibe del Sol. Para poder crear este mismo mecanismo dentro de un reactor nuclear de fusión, el método que mejores resultados ofrece es buscar la fusión entre dos isótopos del hidrógeno:

- Deuterio (^2H). Isótopo estable del hidrógeno, formado por un protón y un neutrón. Se considera que este isótopo es abundante en la naturaleza, ya que el 0.015% de los átomos de hidrógeno son de Deuterio (Deuterio, s. f.).
- Tritio (^3H). Isótopo radiactivo, o inestable, del hidrógeno, formado por un protón y dos neutrones. Este se produce de forma natural o artificial. De forma natural se produce al incidir los rayos cósmicos sobre los átomos de hidrógeno que se encuentran en la atmósfera. De forma artificial se puede fabricar dentro de los reactores de fisión nuclear que se utilizan en la actualidad (Tritio, s. f.).

La reacción de fusión entre el deuterio y el tritio es la siguiente: (CIEN, 2015)

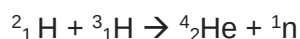
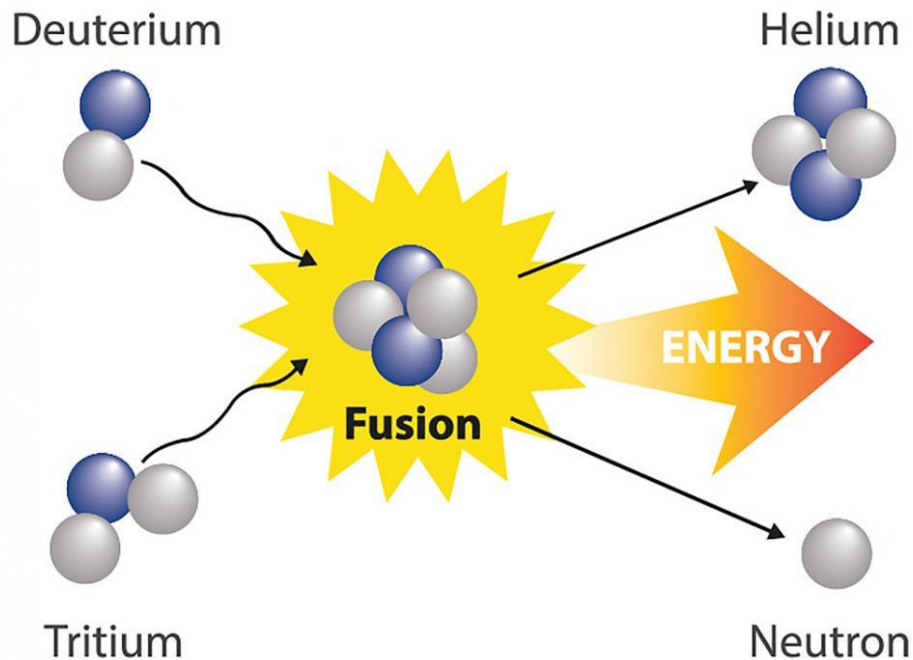


Ilustración 6. Proceso de fusión entre el deuterio y el tritio.



Fuente: <https://www.muyinteresante.es>

Como se puede apreciar en la fórmula y la Ilustración 6, el proceso de fusión libera un átomo de Helio, un neutrón y energía. A simple vista parece un proceso sencillo, sin embargo, el problema radica en que para conseguir que el deuterio y el tritio se fusionen estos deben calentarse hasta unas temperaturas elevadísimas, que provocarían que cambiasen al estado de plasma, el cual se caracteriza por estar formado por electrones libres y átomos ionizados. Esto provoca que el plasma producido deba mantenerse controlado y la temperatura necesaria, técnicamente denominado confinamiento del plasma (Foro Nuclear, 2020). Los dos métodos más avanzados hoy en día para confinar el plasma son:

- Confinamiento Inercial. Este método busca que el plasma posea una gran densidad, aumentando en una alta proporción las posibilidades de que los núcleos de deuterio y tritio choquen entre sí y se fusionen. Para ello, se debe disparar un láser sobre una pastilla de combustible, que contiene deuterio y tritio. Esta, al calentarse a una gran temperatura, implosionaría, lo que generaría un gran aumento de la densidad que permitiría que se produjese la reacción de fusión.

- Confinamiento Magnético. Este método consiste en que una vez que se tiene el combustible en estado plasmático, se aplica un campo electromagnético que permitiría controlar todas las partículas cargadas eléctricamente, es decir, controlar el plasma. El objetivo de controlar el plasma mediante un campo magnético es el de crear una especie de nube de plasma en suspensión, ya que para que se produzca la reacción de fusión, el plasma se debe calentar a una temperatura tan elevada que en la actualidad no existen ningún material que soporte estas temperaturas de forma constante y pueda usarse dentro de un reactor de fusión de forma práctica.

El mayor avance existente hasta el día de hoy en el campo de la fusión nuclear es ITER, un reactor termonuclear experimental basado en el confinamiento magnético y en el que participan la Unión Europea, Estados Unidos, Corea del Sur, Rusia, Japón, India y China. Este se encuentra situado en Cadarache, Francia y se encuentra en fase de construcción. Este tiene varios objetivos a cumplir de cara al futuro, pero el más importante y el que supondría el paso definitivo que significaría que este proyecto habría tenido éxito, es poder poner en funcionamiento una pequeña central de demostración, llamada DEMO. Tras varios retrasos, se prevé que se pueda lograr alrededor del año 2040.

El proyecto ITER puede parecer que carece de importancia, ya que aún está lejos de mostrar resultados, debido a que aún no se han podido comprobar experimentalmente la viabilidad del proceso de fusión, solo existen cálculos y predicciones teóricas. Sin embargo, la apuesta por este proyecto puede generar grandes beneficios en el futuro, ya que supondría la obtención de la mayor fuente de producción eléctrica para la humanidad, con un mecanismo seguro y sin riesgo de accidentes nucleares y con una generación de residuos mínima.

España, al ser miembro de la Unión Europea, participa en este proyecto. La industria nuclear que existe en la actualidad en España es de vital importancia para que este país pueda seguir aportando al proyecto de ITER. Si en un futuro dejan de existir centrales nucleares en España, se perderán grandes profesionales de esta industria, así como científicos que dediquen sus estudios a la investigación dentro del campo de la energía nuclear. Esto provocaría que, en un posible futuro en el que puedan existir reactores de fusión nuclear, hubiese una importante carencia de

profesionales que fuesen capaces de conseguir que España se convirtiese en una de las principales potencias en el uso de esta forma de producción de electricidad (ITER, s. f.).

4.5. Análisis Ecológico.

4.5.1. Residuos radiactivos generados por las centrales nucleares.

A la hora de realizar un análisis ecológico, una de las cuestiones más importantes y que más se debe tener en cuenta es la generación de residuos. Todas las actividades realizadas por el ser humano llevan asociadas la generación de una serie de residuos que, normalmente, si no son tratados con responsabilidad y criterios científicos, pueden afectar gravemente al medioambiente.

En el análisis político se trató brevemente el tema de los residuos nucleares, debido a la importancia del Plan General de Residuos Radiactivos. Sin embargo, a continuación, se explicarán en mayor profundidad las características de todos los residuos radiactivos procedentes de las centrales nucleares. Para ello, se ha elaborado la tabla 21, la cual ordena los diferentes tipos de residuos radiactivos en función de su actividad y la vida de este, también conocida como período de semidesintegración.

Este período de semidesintegración se define como “el tiempo necesario para que la mitad de los átomos de una sustancia radiactiva se desintegren, y la actividad de esta se reduzca a la mitad de su valor inicial” (*Foro Nuclear*, 2020). Los residuos de vida corta y media son aquellos que tienen un período de semidesintegración inferior a los 30 años, y los de vida alta los que superan los 30 años (CSN, s. f.).

Tabla 21. Vida y características de los diferentes tipos de residuos radiactivos.

TIPO DE RESIDUO	VIDA DEL RESIDUO	CARACTERÍSTICAS
De baja y media actividad (RBMA).	Corta y media.	“Residuos cuya actividad se debe principalmente a la presencia de radionucleidos de periodo de semidesintegración corto o medio y cuyo contenido en radionucleidos de vida larga es muy bajo y se encuentra limitado”. Proceden de equipos, herramientas y materiales de industrias que realizan alguna actividad con material radiactivo.
De muy baja actividad (RBBA).	Corta y media.	“Residuos que pueden definirse como un subconjunto de los anteriores cuando solo alcanzan unas concentraciones de actividad del orden de 10 a 1000 Bq/g”. Proceden del desmantelamiento de las centrales nucleares.
De muy baja actividad (RBBA).	Larga.	“Residuos que contienen radionucleidos de las cadenas de desintegración del Uranio (238) y Torio (232), que tienen en general periodos de semidesintegración muy elevados”. Proceden de la minería y el proceso de enriquecimiento del uranio.
De alta actividad (RAA).	Larga.	“Residuos que contienen emisores alfa de vida larga, con período de semidesintegración superior a 30 años, en concentraciones apreciables y pueden generar calor por efecto de la desintegración radiactiva, ya que su actividad específica es elevada”. Proceden de los restos de combustible usado de las centrales nucleares.

Fuente: <https://www.csn.es>

4.5.2. *Almacenamiento de los residuos radiactivos.*

En la actualidad existen diferentes métodos que se consideran los más apropiados para almacenar residuos radiactivos, ya sean estos procedentes de las centrales nucleares, hospitales u otras industrias. A continuación, se profundizará en cómo funcionan los diferentes tipos de almacenes, así como sus principales ventajas e inconvenientes.

Almacenamiento en piscinas.

El primer paso tras extraer el combustible nuclear del interior de un reactor consiste en almacenarlo en el interior de una piscina de agua, la cual se ubica dentro de la propia central. En estas piscinas se almacenan los restos de combustible por un período mínimo de cinco años, hasta que se enfríe y se reduzca la actividad del combustible hasta un nivel que permita almacenarlo en otro lugar de forma segura. El motivo por el que estas piscinas son de agua se debe a que esta posee un elevado coeficiente de transmisión de calor, así como poseer unas propiedades muy buenas relativas al blindaje contra la radiación ionizante. Esta piscina se muestra en la Ilustración 7 (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Enresa, s. f.).

Ilustración 7. Piscina destinada al almacenamiento de combustible nuclear.



Fuente: <https://www.enresa.es>

Almacén Temporal Individualizado (ATI).

Los ATI son contenedores que, a diferencia de las piscinas, almacenan los restos de combustible en seco, y no cubiertos por agua. Sin embargo, los residuos no se llevan a estos hasta que no han pasado el tiempo suficiente en las piscinas.

Estos contenedores son de metal o de una mezcla de hormigón y metal, y sus principales características son:

- Tienen un funcionamiento pasivo, es decir, no necesitan que se controle su funcionamiento desde el exterior ni que se le aporte ningún tipo de energía o combustible.
- Evitan que el combustible sea capaz de generar una reacción en cadena de fisión.
- Evitan que el material radiactivo escape al exterior.
- Evacúan el calor residual generado por los restos de combustible.

Este tipo de almacenes suelen encontrarse en el interior de las propias centrales nucleares, en espacios dedicados exclusivamente para su emplazamiento. Debido a su resistencia, estos pueden encontrarse al descubierto o en salas disponibles exclusivamente para estos contenedores. En la Ilustración 8 se puede apreciar el ATI de la central nuclear de Trillo.

Ilustración 8. Almacén Temporal Individualizado de la central nuclear de Trillo.



Fuente: <https://www.enresa.es>

Almacén Temporal Centralizado (ATC).

Los ATC son instalaciones diseñadas para almacenar los residuos de combustible nuclear, así como todos los residuos considerados de alta actividad y los residuos de media actividad que no puedan ser almacenados en otros almacenes por cualquier motivo. Las principales características de este tipo de almacén son:

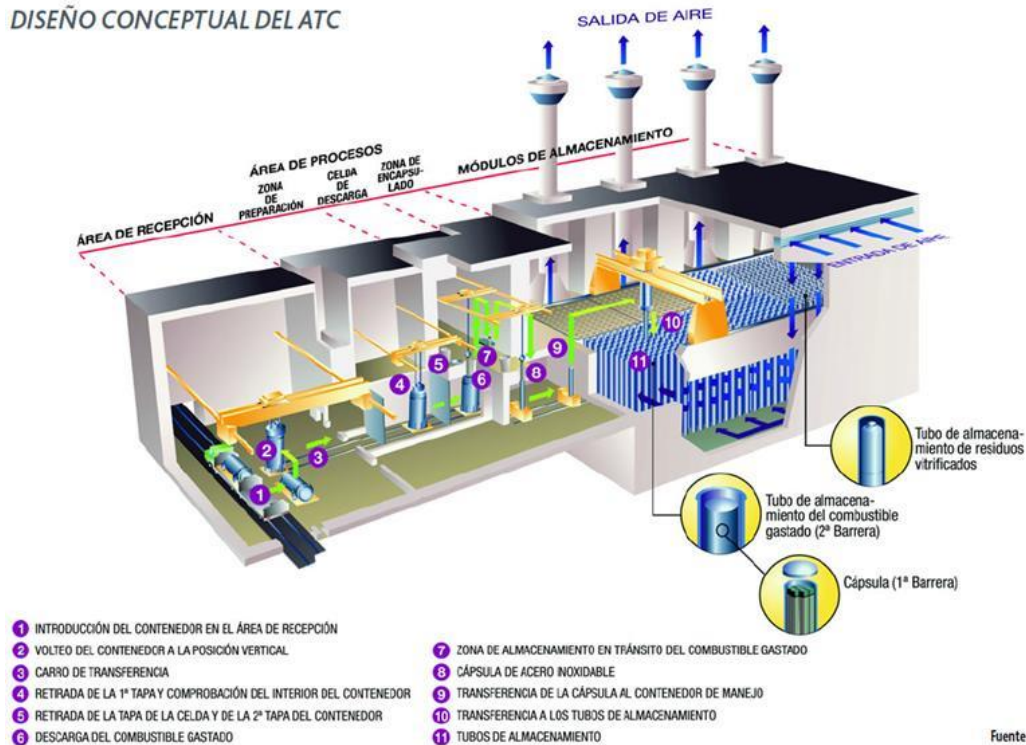
- Modo de funcionamiento pasivo, dividido en módulos y que permite acceder a los residuos en caso necesario.
- Facilita las labores de seguridad y vigilancia, ya que se pasa de un almacenamiento individualizado en cada central nuclear a una sola localización.
- Permite el desmantelamiento de las centrales nucleares que hayan llegado al fin de su vida útil, ya que, si en ellas siguen existiendo ATI's en funcionamiento, no podrá completarse nunca su desmantelamiento.

Además de las características anteriores, el ATC diseñado para España, así como otros que ya se encuentran en funcionamiento, incluyen la existencia de centros tecnológicos que aprovechan la existencia de estos residuos para realizar investigaciones relativas a, por ejemplo, el reciclado de estos residuos para poder seguir utilizándose como combustible nuclear.

El esquema del interior de un ATC es el siguiente, el cual muestra todos los dispositivos que incluye tanto para el manejo de los residuos como para mantener unas condiciones seguras.

Ilustración 9. Disposición de un almacén temporal centralizado.

DISEÑO CONCEPTUAL DEL ATC



Fuente: <https://www.csn.es>

El funcionamiento de un ATC, como se muestra en la Ilustración 9, es el siguiente: Los residuos radiactivos llegan al ATC almacenados en contenedores, para que su transporte sea seguro. Estos contenedores se introducen en el ATC y tras varias comprobaciones, se descargan los residuos almacenados en ellos a una zona de almacenamiento. De esta zona, los residuos se pasan a unas cápsulas de acero inoxidable, las cuales actúan como primer elemento de protección. A su vez, estas cápsulas se introducen en unos tubos de almacenamiento, que suponen una segunda barrera de protección (CSN, s. f.).

Almacén Geológico Profundo (AGP).

Este almacén es una instalación que aún no existe en La Tierra, aunque se considera como la mejor opción para el almacenamiento de residuos radiactivos. Este almacén sería una instalación subterránea, a una profundidad de unos 500 metros y ubicada en una zona geológica estable.

En un AGP los residuos se almacenarían en cápsulas fabricadas con metales y materiales cerámicos, extremadamente resistentes y con una durabilidad en el tiempo

muy elevada. Estas cápsulas se almacenarían después en las galerías que formarían al AGP, las cuales se diseñarían de forma que tanto el material usado para la construcción como el propio terreno del emplazamiento supondrían una barrera que contendría todas las posibles fugas radiactivas.

Este almacén está diseñado de forma que sea totalmente pasivo y no sea necesario realizar ningún tipo de control sobre el mismo. Además, como el objetivo es que no se deba recuperar en ningún momento los residuos en él presentes, este se sellaría y quedaría totalmente aislado del medioambiente.

Para los residuos de alta actividad, se estima que aquellos que se introduzcan en el AGP deberían haber pasado al menos 40 años en un ATI o ATC, de forma que cuando se trasladasen al AGP su almacenamiento fuese totalmente seguro y no existiese ningún tipo de riesgo. Según las estimaciones realizadas, una vez hubiesen pasado 10.000 años, la radiactividad presente en el almacén habría desaparecido completamente. Debido a esto, el objetivo del AGP es ser capaz de confinar los residuos durante ese período sin ningún tipo de control, ya que transcurrido ese período de tiempo resulta imposible conocer en qué situación se encontraría la humanidad (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (CSN, s. f.).

4.5.3. Reciclaje de los residuos procedentes del combustible nuclear.

En la actualidad, en la mayoría de las industrias se busca aumentar la vida útil de los recursos y materias primas, lo que supone una reducción del impacto ambiental de las actividades realizadas por el ser humano, permitiendo alcanzar una mayor sostenibilidad. La sostenibilidad se puede definir de diferentes formas, aunque la forma más exacta de hacerlo desde un punto de vista ambiental sería promover actividades que permitan el desarrollo económico y tecnológico, mejorando la calidad de vida de las personas, a la vez que se conserva y protege el medio ambiente de forma indefinida (¿Qué es la sostenibilidad?, s. f.) (¿Qué es la sostenibilidad ambiental?, s. f.).

La energía nuclear, por ende, también debe ser capaz de contribuir a alcanzar una mayor sostenibilidad en la producción de energía eléctrica. Como ya fue expuesto anteriormente, el futuro a corto plazo de la energía nuclear reside en la implantación

de los reactores de cuarta generación, los cuales mejoraban tanto la seguridad de los reactores actuales como su consumo de combustible. Sin embargo, esta no es la única vía que existe para mejorar la sostenibilidad de las centrales nucleares, ya que los residuos procedentes del combustible nuclear pueden llegar a dejar de considerarse residuos, para convertirse en un nuevo recurso dentro de las propias centrales nucleares. Los restos de combustible procedentes de los reactores nucleares pueden tener dos futuros muy diferentes entre sí.

En el caso de que se siga el denominado Ciclo Abierto, una vez los restos de combustible se hayan extraído del reactor, seguirán un proceso de almacenado similar al explicado en el apartado 4.5.2, es decir, tras pasar el tiempo necesario en la piscina de combustible, se depositarían en un ATI o ATC a la espera, si existiese esa posibilidad en un futuro, de ser almacenados en un AGP. Esto significa que una vez se ha terminado de usar el combustible dentro del reactor, sus restos pasan a ser considerados como un residuo en todo momento.

La alternativa a la metodología anterior es el Ciclo Cerrado, el cual consiste en realizar diferentes procesos de reprocesado y reciclaje de los restos de combustible, de forma que se puedan seguir considerando como un recurso para la obtención de energía nuclear. Este es el caso del MOX (Combustible de Óxido Mixto de Uranio y Plutonio), el cual se obtiene a partir de plutonio extraído de los restos de combustible usado y de uranio natural o empobrecido. Este combustible representa el 5% de todo el combustible nuclear producido hoy en día y existen en Europa más de 30 centrales nucleares que lo usan, pero ninguna de ellas es española. Estas centrales reciben el combustible del único productor de MOX en Europa, denominado Melox y situado en Francia, aunque en la actualidad tanto Estados Unidos como Japón se encuentran en la construcción de plantas similares que permitan aumentar el uso de este tipo de combustible (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (Enresa, s. f.).

En cambio, la potencia mundial que se encuentra a la cabeza de esta tecnología es Rusia, que tiene en funcionamiento un reactor nuclear rápido basado en el uso de MOX, denominado BN-800. En enero de 2020 se cargaron en el reactor 18 elementos combustibles de MOX, y en febrero de 2021 se han cargado 160 nuevos elementos de MOX, lo que supone que actualmente un tercio del combustible usado por el reactor sea MOX, usándose simultáneamente con uranio enriquecido. Sin embargo, a partir

de la última recarga realizada, únicamente se introducirá MOX en el reactor, de forma que el objetivo es que a partir de 2022 el reactor opere únicamente usando MOX como combustible. Para ello, Rusia cuenta con su propia planta de fabricación de MOX, denominada MCC. No obstante, el reactor BN-800 (mostrado en la Ilustración 10), con una potencia de unos 800 MWe, no es el objetivo final de Rusia. Este reactor es únicamente un avance a modo de reactor de prueba, que ayude al desarrollo de los reactores BN-1200, con una potencia de 1220 MWe, de los cuales pretenden poner diez en funcionamiento para el año 2030 (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (World Nuclear News, 2021). El reactor BN-800 se muestra en la siguiente imagen.

Ilustración 10. Fotografía de un reactor BN-800.



Fuente: <https://www.world-nuclear-news.org>

La importancia del uso y desarrollo de la tecnología que use como combustible MOX es absoluta, ya que no solo supone reducir la cantidad de uranio enriquecido y todo el proceso que lleva su obtención, sino que permitiría empezar a reducir la cantidad de restos de combustible nuclear almacenado al ser utilizado para la fabricación de MOX. Esto quiere decir que todos los restos de combustible que actualmente se encuentra almacenados podrían ser en realidad una nueva fuente de combustible.

Además del MOX, Rusia también es pionera en la actualidad en el uso del combustible REMIX, el cual se fabrica a partir del uranio y el plutonio obtenido del reprocesamiento del combustible usado, junto con una pequeña parte de uranio enriquecido. La diferencia con el MOX es que este solo recupera el plutonio del

combustible usado, por lo que el REMIX supone un mayor reciclaje. Otra de las principales características del REMIX es que se puede usar como único combustible en las centrales nucleares actuales, sin necesidad de introducir cambios en el diseño de las centrales. No obstante, otra característica fundamental de este combustible es que puede llegar a reciclarse hasta cinco veces, de forma que supone una excepcional aliado en la sostenibilidad de las centrales nucleares. Desde 2016 existe en Rusia un reactor nuclear experimental basado en el uso de REMIX, el cual se encuentra en el tercer ciclo de 18 meses de uso del mismo combustible que se introdujo en el momento de su puesta en marcha. El objetivo final de Rusia es que, gracias a la producción de REMIX en las instalaciones de Siberian Chemical Combine, se pueda poner en marcha otro reactor experimental que opere al máximo de su capacidad usando únicamente REMIX (Alfredo García, @OperadorNuclear, 2021) (World Nuclear News, 2020).

4.5.4. *Energía nuclear y el cambio climático.*

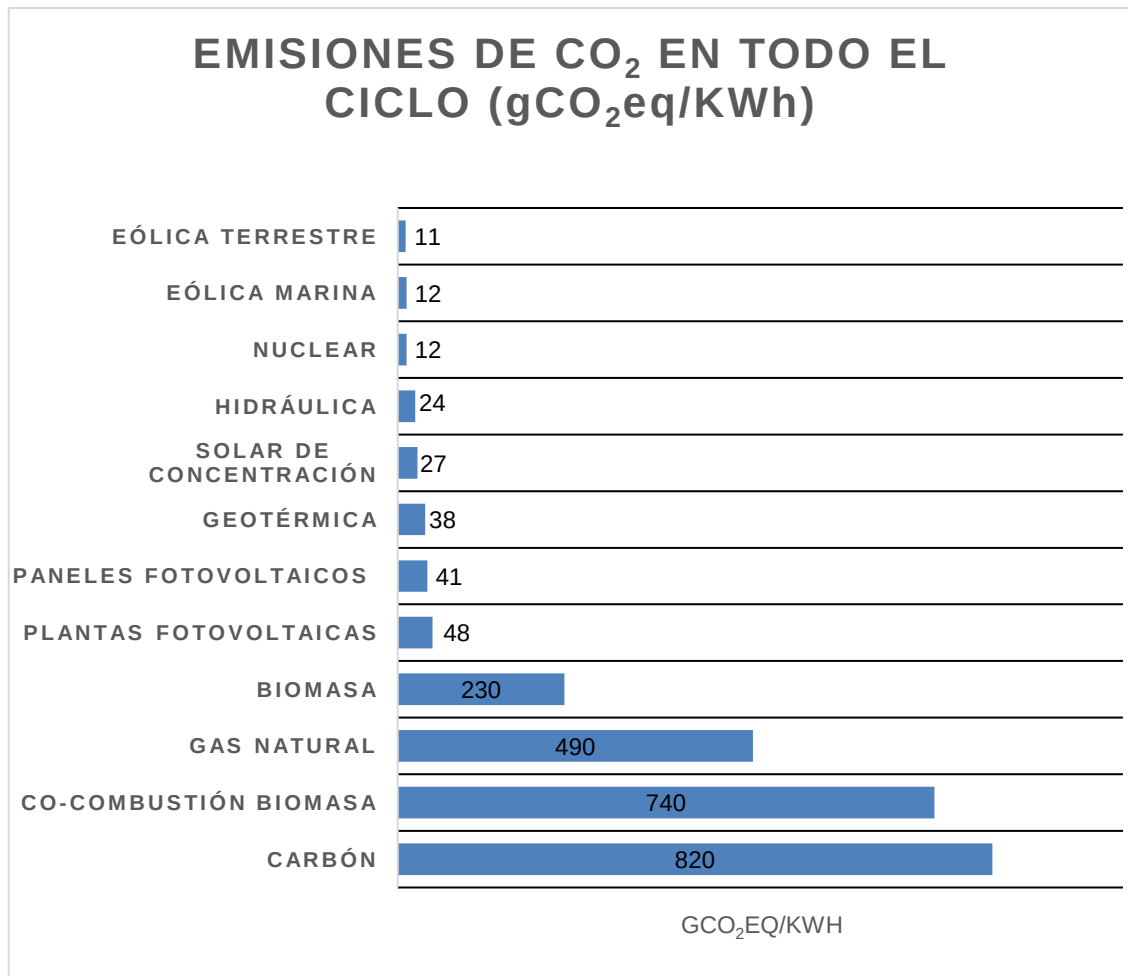
El principal problema medioambiental al que se enfrenta la humanidad es el cambio climático, el cual se puede definir como “la variación global del clima de la Tierra”. Este fenómeno es consecuencia de causas naturales y de las actividades realizadas por el ser humano. La Tierra ha sufrido a lo largo de su vida diferentes cambios climáticos en los que ha pasado de épocas frías (glaciaciones) a épocas cálidas, todos ellos motivados por diferentes sucesos naturales. Este cambio climático lleva asociado como consecuencia principal el calentamiento global, así como el deshielo de los glaciares, los fenómenos meteorológicos extremos, etc.

Pese a que este fenómeno se podría catalogar como normal o habitual para La Tierra, lo cierto es que el cambio climático actual tiene como principal causa el aumento de los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera, los cuales a pesar de que existen fenómenos naturales que los emiten en gran cantidad, como los volcanes, provienen principalmente de las actividades realizadas por el ser humano. La principal característica de los gases de efecto invernadero es que absorben la radiación infrarroja de onda larga emitida por el planeta, es decir, retienen el calor que este trata de evacuar. Los principales gases de efecto invernadero son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, el ozono y los clorofluorocarbonos (CFC).

Todos estos gases que influyen en el cambio climático son emitidos en masa debido a las actividades realizadas por el ser humano en las que se queman combustibles fósiles, ya sea con el uso de medios de transporte como los coches o los aviones o con los diferentes métodos de producir energía eléctrica.

Los principales aliados contra el cambio climático son el uso de tecnologías limpias y renovables, es decir, se debe abandonar todo lo posible el uso de combustibles fósiles. Es aquí donde la energía nuclear puede desempeñar un papel fundamental y ser un arma importante en la lucha contra el cambio climático, ya que esta no emite gases de efecto invernadero para la producción de energía eléctrica. Es cierto que, en la realidad, si se analiza toda la cadena de producción de energía eléctrica procedente de las centrales nucleares, aparecen emisiones asociadas a los procesos de obtención del combustible nuclear, la construcción de las centrales, el transporte de los materiales y equipos, etc. Estas emisiones asociadas al ciclo completo han sido usadas habitualmente por los opositores a las centrales nucleares, buscando una forma de desprestigiar a la energía nuclear y tratar de mostrar a la población que esta también contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. No obstante, en el siguiente gráfico elaborado por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) en el que se muestra los gramos de CO₂ emitidos en la generación de 1KWh (gCO₂eq/KWh), comparando los diferentes medios de producción de electricidad, se puede apreciar como la energía nuclear es una de las menores emisoras de CO₂ (Qué es el cambio climático, s. f.) (Gases de efecto invernadero, 2020) (Caitlyn Kennedy & Rebecca Lindsey, 2018) (Global Warming of 1.5 oC, s. f.).

Tabla 22. Emisiones totales de CO₂ en todo el ciclo de los diferentes tipos de centrales eléctricas.



Fuente: La energía nuclear salvará el mundo.

Como se puede observar en la Tabla 22, la energía nuclear es una de las productoras de energía eléctrica que menor generación de CO₂ lleva asociada, incluso por debajo de algunas de las energías renovables más extendidas hoy en día. Sin embargo, esto no quiere decir que las renovables deban dejarse de lado, sino que la energía nuclear puede ser el complemento ideal para ayudar a las energías renovables a desplazar a los combustibles fósiles y mayores generadores de gases de efecto invernadero, los cuales son el principal problema que solucionar. Esta es la conclusión a la que se llega después de analizar detenidamente el informe elaborado por la Comisión de Expertos sobre Escenarios de Transición Energética.

Este informe de gran extensión tiene por objetivo determinar las medidas necesarias dentro del sector energético para poder cumplir con los objetivos establecidos en el Acuerdo de París, en el cual se estableció como objetivo principal limitar el calentamiento global a 1.5°C, para lo que se considera herramienta

fundamental la reducción de los gases de efecto invernadero. A modo de resumen de los resultados obtenidos en este informe, se extraen las siguientes conclusiones (Comisión de expertos de Transición Energética, 2018):

- Con el objetivo de reducir en un 80% las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2050, se concluye que la eliminación de las centrales nucleares supondría una menor reducción de las emisiones, lo que dificultaría la consecución de este objetivo.
- El Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (RCDE UE o ETS UE), establece unos límites en las emisiones de CO₂. Según estos límites, si en el año 2030 España se encontrase en un escenario en el que no se hubiese extendido la vida útil de las centrales nucleares, por lo que el parque nuclear se encontraría cerrado, estos límites se incumplirían, aumentándose las emisiones de CO₂ entre 15 y 17 MT (megatoneladas).

5. ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA.

5.1. Las cinco fuerzas de Porter.

Michael Porter, economista y profesor en Harvard, es considerado como uno de los economistas más importantes del mundo, quién ha ideado teorías muy extendidas y mundialmente reconocidas dentro del sector económico y empresarial. Porter es autor de gran cantidad de libros y artículos, siendo su libro titulado “Estrategia Competitiva” aquel en el que define cuales son las cinco fuerzas que influyen directamente en la rentabilidad de las empresas.

El análisis de las fuerzas de Porter se puede definir como “el modelo que permite analizar el nivel de competencia de una organización dentro del sector al que pertenece, facilitando el desarrollo de la estrategia de negocio”. Las fuerzas de Porter es una metodología ampliamente reconocida por su capacidad para reconocer los principales factores que pueden influir en la estrategia de una empresa. Sin embargo, existen ciertas críticas hacia ella, ya que no se incluye un factor muy importante como es la influencia de los gobiernos en las empresas.

Las fuerzas definidas por Porter son las siguientes:

1. Poder de negociación del cliente.

Porter considera que los clientes, si poseen la capacidad de organizarse, pueden llegar a acuerdos para presionar a las empresas a establecer unos precios determinados o mejorar la calidad de sus productos o servicios.

Además, se debe considerar que, si existen diferentes proveedores de un mismo producto o servicio, es decir, competidores de la empresa analizada, el cliente tendrá un mayor abanico de posibilidades entre las que elegir.

2. Poder de negociación del proveedor.

Las empresas que dependen de proveedores para fabricar sus productos u ofrecer sus servicios, verán que en sus estrategias influyen las características de estos. Para las empresas es de gran importancia poder establecer determinadas exigencias a sus proveedores, en temas relativos a costes, plazos de entrega, calidad de los productos o materiales, etc. Cuantos menos proveedores existan, menor será la capacidad de la empresa para exigir determinadas cuestiones a estos, es decir, menor será el poder de negociación de la empresa. Una forma de entender esta fuerza sería en base a la primera fuerza explicada, pero en este caso considerando a la propia empresa como cliente de las empresas proveedoras.

3. Amenaza de nuevos competidores.

La existencia de nuevos competidores que puedan resultar atractivos para los clientes de una empresa son una amenaza para la misma. Por tanto, la existencia de barreras de entrada a un sector determinará las posibilidades de que existan nuevos competidores. Cuantas menos barreras de entrada a un sector existan, este sector aumentará su atractivo por su relativa facilidad para empezar a competir en él, más medidas tendrán que tomar las empresas existentes para defenderse de estos nuevos competidores.

4. Amenaza de productos o servicios sustitutivos.

Los productos sustitutivos son aquellos que satisfacen las mismas necesidades que otro. Por tanto, cuanto mayor sea el número de productos capaces de sustituir al

ofrecido por una empresa, esta se verá obligada a reducir sus precios de venta, así como intentar mejorar su calidad o implementar nuevas tecnologías.

5. Rivalidad entre los competidores existentes.

Esta rivalidad depende directamente de las cuatro fuerzas anteriores y se ve influenciada por las diferentes estrategias seguidas por cada competidor. Así, cuanto mayor sea la rivalidad, mayores medidas deben tomar las empresas para diferenciarse de sus competidores.

La rivalidad está muy asociada al número de competidores, su posicionamiento, sus costes, tecnologías utilizadas, calidad, etc (ThePowerMBA, 2020) (ActivaConocimiento, 2016).

A continuación, se procede a analizar las 5 fuerzas de Porter dentro del sector de la energía nuclear. Es importante remarcar que, al ser el objeto de estudio de este proyecto el sector nuclear en su conjunto, no se analizará la competencia entre las propias centrales nucleares que sean propiedad de diferentes empresas competidoras, sino que se considerará como competidores a las otras tecnologías dedicadas a la generación de electricidad a gran escala.

5.1.1. *Poder de negociación del cliente.*

Dentro del sector eléctrico, el cliente no posee un poder de negociación que pueda influir de forma considerable en la estrategia seguida por el sector nuclear. Toda la población de un país consume energía eléctrica, tanto para la vida en sus hogares, como en sus oficinas o actividades de ocio. Es cierto que la población tiene la capacidad de mostrar su desacuerdo por los precios de la factura eléctrica en ciertas ocasiones o cuando se compara el incremento de precios entre diferentes años. Sin embargo, lo cierto es que todos los clientes de las centrales nucleares son en realidad clientes del mercado eléctrico y debido al funcionamiento de este y a su regulación de precios, no pueden influir en ninguna forma sobre los precios que se establecen.

En el mercado eléctrico, las empresas generadoras ofrecen electricidad a un determinado precio (en función de la tecnología que la produzca) y según la oferta de compra de las empresas comercializadoras (las que compran la electricidad y la

venden al consumidor final) se establece el precio de equilibrio ya explicado anteriormente. Por tanto, se podría considerar a estas empresas comercializadoras como clientes de las centrales nucleares, y de todas las centrales eléctricas españolas. No obstante, en el mercado eléctrico español se da la circunstancia de que el 80% de la electricidad generada, el 100% de su distribución y el 90% de la electricidad comercializada depende de cinco empresas diferentes. Es decir, las mismas empresas que ofrecen la electricidad, son las encargadas de ofrecer un precio de compra y distribuir esta electricidad. Esta situación se podría definir como oligopolio, ya que las pocas empresas existentes controlan todas las ventas como si existiese un monopolio (Comisión de expertos de Transición Energética, 2018) (*¿Sabes qué es una compañía comercializadora eléctrica?*, 2018).

Por tanto, la realidad es que el sector nuclear en particular, y el sector eléctrico en general, no debe preocuparse por el poder de negociación del cliente. Más bien son los clientes los que se encuentran en una situación en la que, debido a las pocas empresas que colman el mercado, podrían preocuparse por la capacidad de estas empresas para establecer precios elevados y para mantenerse al borde de las condiciones abusivas.

5.1.2. *Poder de negociación del proveedor.*

En el sector nuclear existen multitud de proveedores, relacionados con la fabricación de combustibles, la fabricación de equipos e instalaciones, elementos de seguridad, etc. Debido a la naturaleza de la energía nuclear, es necesario que estos proveedores siempre ofrezcan las máximas calidades y el uso de las tecnologías más avanzadas, de forma que se permita a las centrales nucleares operar con total seguridad y en las mejores condiciones. Esta situación provoca que el número de proveedores se vea considerablemente reducido, debido a las altas exigencias tecnológicas y relativas a la calidad del sector nuclear. Debido a esto, se produce un aumento del poder de negociación de los proveedores existentes, de forma que los precios que el sector nuclear se ve obligado a pagar por recibir sus servicios se pueda considerar elevado.

En consecuencia, la única estrategia que puede seguir el sector nuclear es establecer acuerdos a largo plazo con los proveedores, de forma que a pesar de que

existan pocas alternativas en el mercado, se puedan acordar unas condiciones más beneficiosas para las centrales nucleares.

5.1.3. *Amenaza de nuevos competidores.*

En la actualidad no existe una gran variedad de métodos de generación de electricidad que se considere que puedan llegar a extenderse en el futuro. Es cierto que las fuentes de electricidad actuales son susceptibles de actualizaciones que mejoren su operatividad, seguridad, eficiencia o reduzcan sus emisiones. Este es el caso, por ejemplo, de las energías renovables, ya que existen multitud de estudios que buscan mejorarlas de alguna u otra forma. Sin embargo, no dejan de ser competidores que ya existen en la actualidad.

Otra de las tecnologías sobre la que más esfuerzos se están realizando es la fusión nuclear, pero esta forma parte del sector nuclear, por lo que no se considera como un competidor, sino más bien una nueva arma con la que competir en el futuro.

No obstante, existe una fuente de energía en la que se está avanzando de forma destacada y que no forma parte del sector nuclear ni una mejora de las energías renovables actuales. Es el caso de la pila de hidrógeno, la cual es “un dispositivo electroquímico que convierte la energía química del hidrógeno en energía eléctrica” (EcoInventos, 2021). Las principales ventajas de esta tecnología en desarrollo son:

- No emite gases de efecto invernadero, solo vapor de agua.
- Gran eficiencia en la producción de electricidad, mucho mayor que la de los motores térmicos usados actualmente.
- La obtención del hidrógeno es un proceso muy limpio y bajo en emisiones.

Habitualmente, la pila de hidrógeno se asocia con su uso como fuente de combustible para vehículos, ya que es el campo en el que más posibilidades tiene. No obstante, ya existen nuevas tecnologías en desarrollo que buscan crear la posibilidad de que en las viviendas existan baterías de hidrógeno basadas en la electrólisis del agua. Estos dispositivos, que se asemejan en forma a las calderas existentes en multitud de viviendas, almacenarían hidrógeno de forma que posteriormente permitirían generar electricidad para el consumo propio de la vivienda o ser usadas como las calderas actuales, pero sin utilizar combustibles fósiles o biomasa. En la

Ilustración 11 se puede apreciar el modelo de caldera doméstica de hidrógeno planteado por Bosch, mientras que en la Ilustración 12 se puede apreciar la batería doméstica diseñada por Lavo System 1 (EnergíasRenovables.com, 2020) (Aleasoft Energy Forecasting, 2020).

Ilustración 11. Caldera de hidrógeno doméstica Bosch.



Fuente: <https://www.energias-renovables.com>

Ilustración 12. Diseño de la batería de hidrógeno doméstica Lavo.



Fuente: <https://ecoinventos.com>

Pese a todas estas ventajas, la pila de hidrógeno se encuentra aún en fase de estudio y es necesario que se inviertan recursos en su investigación, ya que pese al potencial que tiene existen diferentes inconvenientes que deben salvarse para que se convierta en una verdadera potencia en cuanto a la generación de electricidad, como son el precio de producción del hidrógeno, el transporte del mismo y la seguridad de las pilas, ya que el hidrógeno es inflamable y en determinadas situaciones de riesgo o en el caso de accidentes, puede suponer una amenaza. Igual o más importante que estos inconvenientes, existe un problema medioambiental relacionado con el hidrógeno. Este problema es que para llevar a cabo el proceso de electrólisis del agua es necesario aportar una cierta cantidad de energía. Si esta energía procede de fuentes renovables no existe problema, ya que no se emiten contaminantes. El hidrógeno producido de esta forma se conoce como hidrógeno verde. Sin embargo, actualmente las principales fuentes de energía utilizadas para llevar a cabo este proceso son el gas natural o metano, de forma que la producción del hidrógeno se encuentra estrechamente relacionada con la emisión de gases de efecto invernadero hasta que se produzca un cambio en esta situación (Olivos, s. f.) (Riquelme, 2014).

5.1.4. *Amenaza de productos o servicios sustitutivos.*

Los principales competidores de la energía nuclear son las energías renovables y la cogeneración o ciclos combinados. El uso de energías renovables es la apuesta principal de las grandes potencias mundiales y cada vez se producen más avances tecnológicos que mejoran su competitividad. Por otro lado, la cogeneración y los ciclos combinados suponen la alternativa a la energía nuclear, es decir, en el caso de que las centrales nucleares se cierran y no exista suficiente potencia procedente de energías renovables para satisfacer la demanda eléctrica, serán la cogeneración y los ciclos combinados los encargados de compensar la falta de producción eléctrica que anteriormente procedía de las centrales nucleares.

Dada esta situación, la realidad es que la introducción de nuevas plantas de energía renovable supone un competidor prácticamente insalvable para las centrales nucleares. La tendencia actual busca producir la mayor cantidad de electricidad procedente de las renovables, no solo por su bajo impacto ambiental y la posibilidad de que cada vez sea menor, sino por la amplia aceptación que tienen dentro de la población.

Sin embargo, donde la energía nuclear debe intentar demostrar su valía y capacidad no es en competir con las energías renovables, sino en apoyarlas con el objetivo de crear una estructura eléctrica lo más estable y limpia posible. Para ello, el sector nuclear debe mostrar sus ventajas frente a la cogeneración y el uso de ciclos combinados. Estos, como se muestra en el análisis ecológico, en el caso de cierre de las centrales nucleares para las fechas previstas actualmente, pasarían a producir una cantidad importante de electricidad, lo que provocaría un problema a la hora de cumplir con el objetivo de reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

5.1.5. *Rivalidad entre competidores existentes.*

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la energía nuclear rivaliza directamente con las energías renovables, la cogeneración y los ciclos combinados. Aunque existen ciertos países que aún se plantean o se encuentran el proceso de construir nuevas centrales de carbón, como en el caso de Japón, en España no se da esa circunstancia, por lo que este tipo de centrales no se consideran un competidor real, ya que se encuentran al borde del desuso.

En cuanto a las energías renovables, la energía nuclear se encuentra en una situación de cierta desventaja, ya que como se trató en el Análisis Económico, la estructura del mercado eléctrico provoca que las renovables, las cuales poseen unos costes variables muy bajos, pueden ofrecer unos precios que no son óptimos para las centrales nucleares. Esto junto a la tendencia futura relativa a aumentar cada vez en mayor medida la potencia instalada de energías renovables provoca que sea un competidor que se encuentra por encima de la energía nuclear, siendo muy difícil de destronar dada la situación actual.

En cuanto a la cogeneración y los ciclos combinados, la energía nuclear tiene la oportunidad de convertirse en una mejor alternativa debido a los planes y leyes que tienen por objetivo reducir las emisiones de CO₂. Debido a estos planes, todas las fuentes de energía que generan gases de efecto invernadero tendrán asociadas unos determinados impuestos y sanciones, lo que repercutiría directamente sobre los precios. Esto sería una baza fundamental para la energía nuclear, pudiendo mejorar los precios de este competidor, así como suponer una alternativa más limpia en cuanto a emisiones gases contaminantes.

Además de lo anterior, es necesario indicar que la energía nuclear es actualmente una de las tecnologías sobre la que más avances reales y estudios se están realizando. El avance de los reactores de cuarta generación junto con aquellos que reciclan combustible nuclear usado con el objetivo de que vuelva a tener una segunda vida como combustible provoca que la energía nuclear pueda aumentar en gran medida su cartera de negocio, situándose como la alternativa o método de apoyo principal a las energías renovables, desbancando al resto de tecnologías del mercado. No obstante, el avance de la energía nuclear sigue dependiendo de unas medidas mucho más concretas en los temas relativos a los residuos radiactivos, con planes de actuación y de construcción de almacenes para que puedan ser depositados y controlados, así como de una mejora de la percepción social que provoca que se considere como una energía tabú y de la que no se perciben correctamente sus ventajas y desventajas. Finalmente, la energía nuclear cuenta con otra poderosa alternativa, la fusión nuclear. En el caso de que los estudios que se están realizando sobre esta lleguen a buen puerto y se logre desarrollar una tecnología que sea viable en términos de costes, producción de electricidad y operatividad, el sector nuclear poseería la energía definitiva, con un potencial de producción enorme y una generación de residuos insignificante en comparación con la situación energética actual. No obstante, la fusión nuclear aún es un objetivo a largo plazo, cuyo desarrollo aún se encuentra en las primeras fases, aunque ya se hayan logrado importantes éxitos.

5.2. Las seis barreras de entrada de Porter.

Según Porter, existen seis barreras de entrada fundamentales que se deben analizar a la hora de entrar a competir en un mercado. En el caso del sector nuclear, se analizarán las barreras de entrada existentes en el mercado eléctrico a las que se pueden enfrentar las compañías eléctricas en la situación de construir nuevas centrales nucleares, como podría ser el caso de implantar centrales con reactores de cuarta generación (Sociedad Nuclear Española, 2020).

5.2.1. Economías de escala.

Las economías de escala se basan en que cuanto mayor es la producción, menores son los costes asociados a los productos fabricados. Así, en el caso de la

energía nuclear, si una central con una determinada capacidad de producción solo produjera la mitad de electricidad de la que es capaz, el coste de esa electricidad sería el doble del coste si produjera al máximo de su capacidad, debido a los costes fijos asociados a la producción de la energía, que resulta independiente de la cantidad producida.

Según los datos ofrecidos por la Comisión Nacional de Energía de Chile (Comisión Nacional de Energía de Chile, 2020), el coste del kWh procedente de la energía nuclear solo depende en un 6% del coste del combustible. Por tanto, las centrales nucleares están en cierta medida obligadas a maximizar su producción todo lo posible, ya que necesitan poder vender el máximo de electricidad posible con el objetivo de recuperar lo antes posible la alta inversión inicial, estimada entre los 4.000 y 5.000 millones de euros.

5.2.2. *Diferenciación del producto.*

Dentro del mercado energético, la diferenciación del producto es una cuestión que no puede tratarse como tal ya que el producto ofrecido es simplemente electricidad. No obstante, la verdadera diferenciación reside en la forma de producir esa electricidad, cuestión en la que se puede diferenciar entre todas y cada una de las tecnologías existentes. La energía nuclear, para bien y para mal, es un producto claramente diferenciado de cara a la población, ya que todo el mundo la conoce de una forma u otra, con mejor o peor información. En este sentido, el sector nuclear se encuentra en una situación en la que, como se muestra en el Análisis Social, necesita de un gran programa de concienciación y publicidad, ya que existe un amplio sector de la población que rechaza la idea de la energía nuclear, y un alto porcentaje de los miembros de este sector no tienen información suficiente como para decidir en base a un criterio sólido su posicionamiento.

Así, el sector nuclear se encuentra en la actualidad lastrado por la imagen que parte de la población tiene de él, de forma que, si esta situación no cambia, la energía nuclear no será ampliamente aceptada, por lo que nuevas inversiones en centrales nucleares pueden verse desfavorecidas por la opinión pública actual.

5.2.3. *Inversiones de capital.*

Como se encuentra indicado anteriormente, las centrales nucleares requieren una inversión estimada de entre 4.000 y 5.000 millones de euros, para los que se suele establecer un período de amortización de unos 30 años. Esto se traduce en que la construcción de centrales nucleares sea hoy en día una inversión de alto riesgo, ya que posee unos costes muy elevados y con cierta incertidumbre en lo relativo al retorno de la inversión. A continuación, se muestra la Tabla 23, elaborada a partir de la información proporcionada por el informe de la Comisión de Expertos de Transición Energética, en la que se pueden apreciar las diferencias entre costes de inversión de los diferentes tipos de tecnologías, en forma de previsión para los años 2030 y 2050, en forma de euros por cada kilovatio producido.

Tabla 23. Estimación de los costes de inversión en 2030 y 2050 según la tecnología eléctrica.

TECNOLOGÍA	COSTE (€/kW) 2030	INVERSIÓN (€/kW) 2050
Nuclear	4500	4000
Carbón	2141	2141
Ciclo combinado de gas	900	800
Hidroeléctrica fluyente	2888	2888
Hidroeléctrica regulable	2888	2888
Eólica terrestre	1300	1200
Eólica Marina	2580	2000
Fotovoltaica	640	400
Solar Termoeléctrica	3800	2900
Biomasa	2517	2517
Residuos sólidos urbanos	5503	5503

Fuente: Comisión de Expertos de Transición Energética.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la energía nuclear es más cara en términos de inversión que cualquier otra tecnología, solo superada por la tecnología basada en los residuos sólidos urbanos. No obstante, es necesario tener en cuenta que, con los futuros reactores de cuarta generación, estas inversiones se vean reducidas de una forma considerable. Cabe recordar que entre los principales objetivos del desarrollo de estos reactores se encuentra reducir los costes de fabricación, lo que permita que la construcción de una central nuclear sea mucho más accesible. Además, se plantea la posibilidad de que estos reactores operen en las

instalaciones ya existentes de plantas de carbón, gas natural o antiguas centrales nucleares, a costa de una inversión en materia de seguridad y acondicionamiento. Por tanto, es posible que en la actualidad la construcción de una central nuclear no resulte un proyecto atractivo para las empresas. Sin embargo, en el momento en el que los reactores de cuarta generación den el salto definitivo al mercado, es posible que las empresas se encuentren en una situación en la que la apuesta por las centrales nucleares con este tipo de reactores resulte una inversión muy atractiva.

5.2.4. *Desventaja en costos independientemente de las escalas.*

Al igual que es necesario tener en cuenta la magnitud de la inversión inicial, se debe tener en cuenta los costes fijos a los que debe hacer frente cada tipo de tecnología. Para ello se presenta la Tabla 24.

Tabla 24. Costes fijos según la tecnología eléctrica.

TECNOLOGÍA	COSTE FIJO (€/kW)
Nuclear	90
Carbón	33
Ciclo combinado de gas	23
Hidroeléctrica fluyente	59
Hidroeléctrica regulable	59
Eólica terrestre	39
Eólica Marina	96
Fotovoltaica	10
Solar Termoeléctrica	125
Biomasa	54
Residuos sólidos urbanos	54

Fuente: Informe de costos de tecnologías de generación (Marzo 2020).

Como se puede apreciar, los costes fijos de la energía nuclear son los segundos más elevados dentro del sector energético, encontrándose en primer lugar la energía solar termoeléctrica. Esto supone otro problema a la hora de crear nuevas centrales nucleares, ya que para los inversores puede suponer una opción menos atractiva en comparación con otras tecnologías.

No obstante, es necesario indicar que estos costes incluyen los gastos referentes a sueldo del personal, mantenimiento, etc., es decir, costes independientes de la

generación de electricidad. Por tanto, se debe tener en cuenta que en estos costes fijos no se incluye el consumo de combustible, impuestos por generación de gases de efecto invernadero, etc. (Enresa, 2020).

5.2.5. *Acceso a los canales de distribución.*

Dada la situación actual relativa a las empresas del sector energético, aquellas grandes empresas que se planteasen la construcción de nuevas centrales nucleares no deben en ningún momento preocuparse por las cuestiones relativas a los canales de distribución. Esto es debido a que, como se indica en el análisis de las fuerzas de Porter, son cinco empresas las que se encargan del 80% de la generación de electricidad y del 100% de su distribución. Por tanto, si es una de estas empresas la que se embarcase en la construcción de nuevas centrales nucleares, no debería suponerle ningún problema distribuir su energía. Para el caso de empresas que se encuentren fuera de estas cinco anteriores, sería difícil que se involucrasen en un proyecto tan grande, debido principalmente al menor tamaño del resto de empresas frente a las grandes eléctricas. No obstante, si se diese el caso estas deberían llegar a un acuerdo en cuanto a la distribución de la electricidad producida, lo que posiblemente supondría un gasto extra para la empresa emprendedora.

5.2.6. *Política gubernamental.*

La política gubernamental desarrollada hasta la actualidad pone en jaque cualquier nueva inversión que se pueda plantear en energía nuclear, debido a cuestiones energéticas, medioambientales y económicas.

En cuanto a la cuestión energética y medioambiental, debido al Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021 – 2030 (PNIEC), existe el plan de cerrar todos los reactores nucleares que actualmente se encuentran en funcionamiento en España entre los años 2027 y 2035. El cierre de las centrales nucleares es una cuestión relativa a la edad de estas, ya que el gobierno encargado de impulsar esta medida pretende que las centrales nucleares no llegasen a operar con una vida mayor a 40 años. Sin embargo, debido a la inviabilidad de la operación, las centrales nucleares seguirán operando hasta tener una vida de entre 44 y 48 años. Sin embargo, en el caso de que no existiese la intención de cerrar las centrales nucleares, existiría la posibilidad de realizar inversiones para actualizar las centrales nucleares y que fuesen

renovadas todo lo posible, de forma que su vida útil pudiese verse ampliada de forma importante. Por tanto, este cierre no es solo una cuestión del estado en el que se encuentren las instalaciones, sino que también se encuentra motivado por la demostrada inclinación de los gobiernos en cuanto a cerrar las centrales nucleares. Esto significa que, en principio, posibles proyectos destinados a la construcción de nuevas centrales nucleares se viesen entorpecidos por cuestiones políticas, como ya ocurrió en el pasado con la construcción del Almacén Temporal Centralizado, que desencadenó una guerra entre administraciones en la que se utilizaron como armas leyes que ilegalizasen los procesos (Esteller, 2020).

En lo relativo a la cuestión económica, las centrales nucleares actuales y las nuevas que pudiesen existir en el futuro se encuentran en una situación desfavorable en cuanto a la carga fiscal. En el año 2020, los impuestos aplicados a las centrales nucleares supusieron una recaudación de unos 1.200 millones de euros, lo que supone prácticamente el 75% de los ingresos que reciben las centrales nucleares del mercado eléctrico. Esto significa que de los 28 €/MWh establecidos por el mercado eléctrico, las centrales nucleares invierten 21.5 €/MWh en pagar impuestos. Además, las centrales nucleares deben pagar por la gestión de los residuos que generan, procedentes tanto de su desmantelamiento como de su combustible. Este coste se incrementó en 2020 hasta los 7.98 €/MWh. Por tanto, si se tienen en cuenta tanto la inversión en gestión de residuos como el pago de impuestos, el ingreso de 28 €/MWh es inferior a las cantidades a pagar por las centrales nucleares. Por tanto, si se tiene en cuenta la situación actual del mercado eléctrico junto con los impuestos asociados a las centrales nucleares, parece que cualquier inversión en nuevas centrales nucleares se verá ampliamente disuadida de llevarse a cabo, ya que es muy posible que operasen con pérdidas económicas o con una capacidad nula para recuperar la inversión realizada (Infoautónomos, s. f.).

6. ANÁLISIS DAFO.

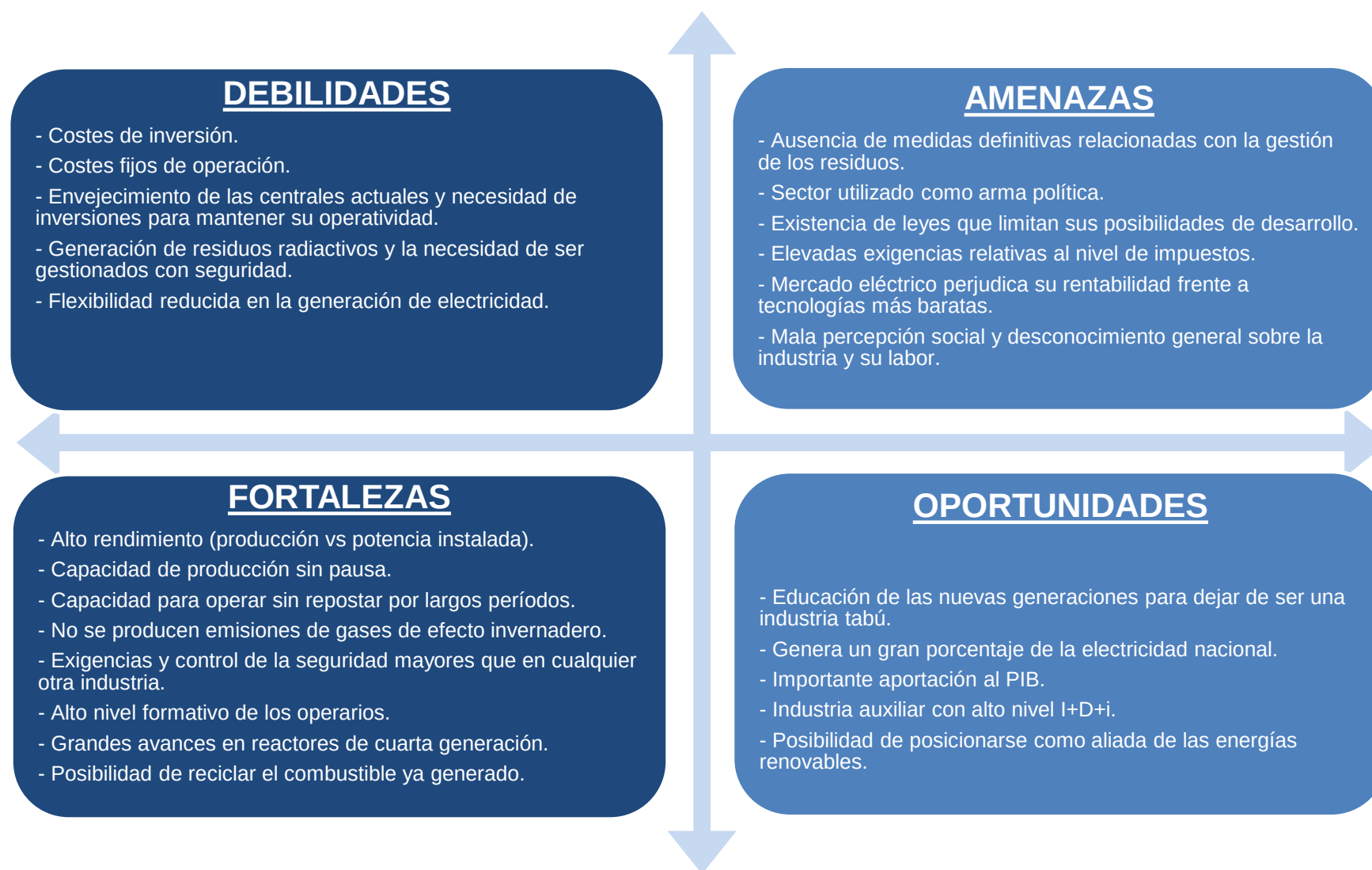
Un análisis DAFO es una herramienta que permite determinar cuál es la situación en la que se encuentra un negocio o un sector determinado, de forma que en base a dicha situación se puedan extraer diferentes conclusiones que permitan tomar diferentes medidas estratégicas (Jiménez, 2018).

Esta herramienta se basa en un análisis interno y externo, determinándose en el primero las debilidades y fortalezas, mientras que en el segundo se determinan las amenazas y las oportunidades. Estos elementos se pueden definir de la siguiente forma:

- Debilidades: Son las características internas del sector o la empresa que limitan su propia capacidad de desarrollo.
- Fortalezas: Son las características internas del sector o la empresa que les proporcionan una ventaja competitiva.
- Amenazas: Son los factores externos que limitan la capacidad de un sector o negocio para poder desarrollar sus estrategias.
- Oportunidades: Son los factores externos que pueden ayudar a un sector o negocio a desarrollar mejoras o lograr sus objetivos.

Una vez se conoce en que consiste un análisis DAFO, se procede a su puesta en práctica sobre el sector nuclear. A continuación, se muestra el análisis realizado en forma de esquema, también conocido como matriz DAFO, en la Tabla 25. Este análisis se ha elaborado a partir de la información expuesta en el análisis PESTEL y en el análisis de la competencia, por lo que para evitar la repetición de argumentos ya redactados, en la matriz DAFO únicamente se indicarán las cuestiones consideradas de forma resumida.

Tabla 25. Análisis DAFO.



Fuente: Elaboración Propia.

7. PROPUESTAS PARA MEJORAR EL SECTOR ENERGÉTICO NUCLEAR.

7.1. Evaluación de las necesidades.

A continuación, se procede a evaluar las necesidades del sector nuclear para mejorar la situación en la que se encuentra actualmente. Por tanto, en esta evaluación se indicarán las mejoras a realizar en este sector para promover su crecimiento y desarrollo, además de solucionar sus problemas actuales.

- Decisiones políticas y legales claras sobre la postura relativa a la energía nuclear.

Pese a todas las invenciones que pueda desarrollar el sector nuclear para mejorar su actividad, por muy avanzadas y positivas que sean, no servirán de nada si tanto el gobierno central como los autonómicos no están dispuestos a apoyar la existencia de las centrales nucleares. Este escenario de incertidumbre limita tanto el desarrollo tecnológico como las inversiones en el sector, por lo que supone la principal cuestión a resolver para el futuro de este. Actualmente, de la misma forma que el cierre de las centrales nucleares se encuentra programado, no está del todo claro que el sistema eléctrico español pueda prescindir de la aportación de las centrales nucleares en un futuro tan cercano, dependiendo esta cuestión de la situación en la que se encuentren el resto de las infraestructuras involucradas en la producción de energía eléctrica.

- Reducción de los costes.

Como ya ha sido indicado a lo largo de este proyecto, uno de los mayores factores limitantes a los que se enfrenta la energía nuclear es a sus costes asociados. Los costes de inversión son muy altos en comparación con los de sus principales competidores, mientras que en los costes fijos la diferencia es aún más desproporcionada. Por tanto, para mejorar su competitividad y atractivo, es primordial que estos costes se reduzcan todo lo posible.

- Planes definitivos sobre la gestión de residuos nucleares.

La industria nuclear, con una importancia y magnitud como la que tiene hoy en día, no puede encontrarse en una situación en la que no existen proyectos definitivos

relativos a la gestión de los residuos que genera. Esto provoca que la industria nuclear se vea obligada a invertir continuamente en sus propios métodos de almacenamiento de residuos, de forma que esto supone un lastre continuado. Este lastre no solo se manifiesta en las centrales nucleares actuales, sino que también provoca que posibles futuras inversiones se vean disuadidas ante la falta de unos planes y legislación definitiva.

- Reducción de los impuestos asociados.

La industria nuclear se encuentra altamente desfavorecida por el tipo de funcionamiento que sigue el mercado eléctrico actual. Sin embargo, un mercado de este calibre no puede modificarse en conveniencia de cada una de las industrias que operan en él, ya que lo que beneficie a unas perjudicaría a otras. Sin embargo, algo que sí podría modificarse con el objetivo de mejorar el desarrollo de la industria nuclear y facilitar su supervivencia es la reducción de impuestos que recae sobre ella. Esto hace que no resulte una industria competitiva, abocando al fracaso y desaparición no solo a las propias centrales nucleares, sino también a toda la industria auxiliar que se ha desarrollado entorno a estas centrales.

- Mejorar la percepción social de la energía nuclear.

Dentro de todas las industrias que existen en el mundo actualmente, la nuclear puede que sea la que más miedo y rechazo genere. Esta situación es comprensible hasta cierto punto, ya que la palabra nuclear puede hacer recordar a la población ciertas connotaciones negativas. Sin embargo, se ha demostrado los efectos adversos procedentes de la actividad de otras industrias mucho más consolidadas y extendidas, que provocan graves problemas medioambientales y el deterioro de la salud de la población, pero sobre las que la concienciación social no provoca el mismo rechazo que sobre el sector nuclear. Por tanto, un claro objetivo de cara al futuro es la educación de la sociedad en estos temas.

7.2. Programas que implantar.

A continuación, se procede a indicar los programas que podrían ser los adecuados para resolver las necesidades del sector nuclear anteriormente indicadas.

El principal riesgo que pone en peligro al sector nuclear y que, en consecuencia, podría afectar no solo al mercado eléctrico, sino también a los futuros objetivos medioambientales, es el problema de rentabilidad de la energía nuclear actualmente. Por tanto, se indican a continuación dos programas de vital importancia relativos a este hecho, junto con otros programas igualmente importantes que ayudarían a mejorar la situación general del sector.

- Eliminación del nuevo proyecto de ley que busca aumentar los costes de centrales nucleares y renovables.

Hasta hace muy poco tiempo, como se indica anteriormente en el análisis PESTEL, existen ciertas razones que indican que las centrales nucleares podrían haber recibido grandes beneficios que permitieron amortizarlas rápidamente y, con unos beneficios muy superiores a la inversión realizada.

A este contexto, se le debe sumar la considerable tendencia a indicar que la energía nuclear, así como algunas de las energías renovables, reciben “beneficios caídos del cielo”. Esto se debe a que en el pool eléctrico es un tipo de mercado marginalista, por lo que las energías más baratas obtienen una mayor rentabilidad con la venta de electricidad que las tecnologías más caras, ya que independientemente del tipo de tecnología para la obtención de energía, el precio de venta establecido finalmente resulta el mismo para todas. Es en esta diferencia de rentabilidad de donde parte la idea de que las tecnologías con una producción más barata reciben mayores beneficios e ingresos extra, siendo la situación agravada por los impuestos relativos a la generación de CO₂ procedentes de otras tecnologías, principalmente los ciclos combinados (Roca, 2021).

Ante esta supuesta situación beneficiosa para la energía nuclear y ciertas energías renovables, existe un proyecto de ley del gobierno español busca que estas tecnologías paguen derechos de emisión de CO₂ a pesar de no emitirlo durante su actividad, con el objetivo de reducir la factura de la luz para el consumidor. Esta medida ha hecho activar todas las alarmas dentro del sector nuclear, ya que puede ser el golpe definitivo a su rentabilidad. Cabe recordar que la energía nuclear ya soportaba una elevada carga fiscal que no le permitía obtener beneficios, principalmente por la carga impositiva que recaía sobre ella. Como agravante de esta

situación, un nuevo informe procedente de la consultora PwC, indica que no solo las centrales nucleares operan actualmente en pérdidas, sino que no se encuentran en situación de haber sido amortizadas. Según este informe, aún se deben amortizar 5.500 millones de euros entre las centrales nucleares españolas. Esta situación se debe en parte a las elevadas inversiones que debe realizar el sector para poder mantener activas las centrales, teniendo las inversiones realizadas en la última década un valor de unos 3.000 millones de euros, además de ser necesaria una inversión similar para prolongar la vida útil de estas hasta la fecha establecida para su cierre. También se indica que en el año 2020 las pérdidas que sufrieron las centrales nucleares fueron de alrededor de los 1.000 millones de euros. Por tanto, resulta obvio deducir que, con un nuevo aumento de la carga fiscal, la operatividad de las centrales nucleares españolas se encuentra abocada al fracaso (Aleasoft Energy Forecasting, 2021).

Esta nueva medida tendrá probablemente un impacto negativo en las inversiones en las tecnologías afectadas, ya que parte del atractivo de invertir en ellas se pierde al tener estas mayores costes, además de la situación de desconfianza que se genera al alterarse la solidez y estabilidad del mercado.

El plan de cierre de las centrales nucleares, en el caso de ejecutarse en la forma prevista, supone que sea de vital importancia que todo el proceso se ejecute con la máxima precisión. Al ser la principal tecnología de generación eléctrica, cierres bruscos o adelantados debidos a la falta de rentabilidad de las centrales provocaría que no existan instalaciones de energías renovables suficientes como para compensar su pérdida, lo que llevaría a un aumento del uso de otros tipos de tecnologías basadas en el uso de combustibles fósiles (centrales de ciclo combinado), lo que aumentaría considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero. Se considera que esta situación también provocaría un aumento del precio de la electricidad para los consumidores.

Esta situación no afecta únicamente a las centrales nucleares, sino que también afecta a la principal energía renovable por la que se apuesta en España, las centrales hidroeléctricas. Si estas empiezan a asumir unos costes derivados del coste del CO₂, que ellas no producen, provoca que se establezca una situación de desconfianza en

los inversores al poder imaginar que el resto de las energías renovables también son susceptibles de sufrir el impuesto al CO₂ a pesar de no generarlo.

Nada más ser anunciado este proyecto de ley se han podido observar importantes caídas en bolsa de las empresas eléctricas, lo que limita aún más las inversiones. Esto unido a las más que previsibles reclamaciones legales por parte de las empresas eléctricas ahuyentará en mayor medida a futuros inversores, dado que se generará una imagen de inestabilidad legal dentro de la industria energética.

Las medidas que mejor pueden solucionar el problema por el que se ha llevado a cabo esta ley no consisten en cobrar a estas tecnologías precios de emisión de CO₂, sino en controlar la especulación relativa a los derechos del CO₂. Esta es una medida que se debe llevar a cabo a nivel europeo, ya que todos los mercados eléctricos existentes en Europa tienen el mismo funcionamiento y, por tanto, el mismo problema (Ledo, 2021).

El problema de los derechos de emisión de CO₂ reside en que las grandes centrales eléctricas e industrias tienen derecho a emitir una cierta cantidad de este gas contaminante de forma gratuita. Es cantidad se ha reducido un 1.74% anual en los últimos años, y a partir del año 2021 se reducirá un 2.2% anual. En el caso de que una empresa necesite emitir una mayor cantidad de la que le corresponde, puede acudir al mercado de estos derechos para comprar los propios derechos de emisión de una cierta cantidad de CO₂. El problema reside en que multitud de bancos de inversión han intuido una gran oportunidad de negocio en esta situación, de forma que han comprado una gran cantidad de derechos de emisión que las empresas tendrán que comprarles tarde o temprano, inflando desproporcionadamente los precios. Es tal la inflación producida en este mercado, que el precio por tonelada de CO₂ emitida en enero del año 2018 era de 4 euros y en abril de ese mismo año se alcanzaron los 48 euros por tonelada, cuando realmente el objetivo inicial era que en abril de ese año el precio fuese de 6.96 euros. Es por tanto que este sí que podría ser el verdadero problema a las elevadas facturas de la luz que pagan los consumidores y que han visto incrementarse en un elevado porcentaje en los últimos años. Debido a esto, supone de vital importancia controlar en mayor medida el mercado de emisiones de CO₂ e ignorar completamente la idea cobrar más impuestos a centrales nucleares y renovables (Aleasoft Energy Forecasting, 2020).

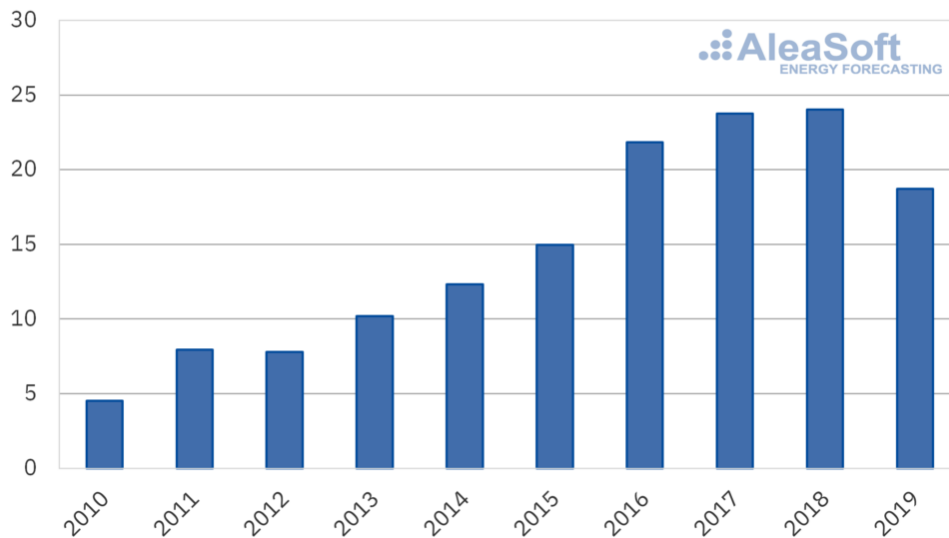
- Eliminación del Impuesto sobre el Valor de la Producción de Energía Eléctrica (IVPEE).

Este impuesto aplicado sobre los productores de electricidad, el cual supone un 7% del importe recibido por la electricidad producida e incorporada a la red eléctrica se estableció en España en el año 2012, con el objetivo reducir el déficit tarifario y la factura eléctrica de los consumidores, según el gobierno que lo estableció. El establecimiento del IVPEE generó y continúa generando diversas polémicas, las cuales se explican a continuación y permitirán entender los beneficios que se podrían obtener si este se eliminase.

El principal problema de este impuesto es que es un impuesto únicamente aplicado en España mientras que en el resto de los países de la Unión Europea, que utilizan el mismo tipo de mercado eléctrico, no existe. Esto supone que los productores eléctricos españoles se encuentran en desventaja frente al resto de productores europeos, lo que ante una situación de progresivo aumento de la interconexión entre las redes eléctricas de los países europeos se traduce en un gran inconveniente para la competitividad. Tanto es así que, desde que se implantó este impuesto, las importaciones de energía eléctrica desde los países fronterizos han aumentado de forma considerable. Es cierto que la existencia del IVPEE no es la única razón, pero sí es un importante factor a tener en cuenta. Los datos se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 26. Energía eléctrica importada por España (península).

Importaciones de España peninsular [TWh]



Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com>

En la Tabla 26 se puede apreciar como en el año 2012, cuando aún no había entrado en vigor este impuesto, las importaciones de electricidad se habían reducido muy poco respecto al año anterior, siendo los valores casi idénticos. Sin embargo, a partir del año 2013 en el que se empezó a aplicar este impuesto, se produjo un considerable aumento de las importaciones, aumentando estas de forma anual. Se puede apreciar como en el año 2019 se produjo una reducción de las importaciones, que casualmente coincidió con que en el primer trimestre de ese año se pausó la aplicación del IVPEE. La suspensión del impuesto por este período se debió a la publicación de un Real Decreto que buscaba limitar el incremento de la factura eléctrica, cuestión que efectivamente se consiguió reducir. Sin embargo, en cuanto se volvió a poner en marcha el cobro de este impuesto la factura eléctrica volvió a subir, llegando a marcar varios récords a nivel europeo en cuanto a precios más altos.

Por tanto, uno de los motivos de la existencia de este impuesto queda totalmente anulado, como es el de reducir el precio de la factura eléctrica, ya que los productores de energía eléctrica aumentaron el precio de esta en consonancia con los impuestos a pagar. Es decir, finalmente estos impuestos acaban siendo pagados por los consumidores.

Por otro lado, también queda demostrado que la falta de competitividad en precios de los productores españoles se traduce en que aumentan las importaciones y se reducen las exportaciones. Esto limita los beneficios que pueden recibir los productores, así como consecuentemente afecta a las inversiones en nuevas y mejoradas plantas eléctricas, a la capacidad de España para ser eléctricamente independiente y a la transición ecológica (Aleasoft Energy Forecasting, 2020).

Aunque el problema descrito anteriormente afecta a todo el sector energético, resulta claro que para el sector de estudio, la industria nuclear, la reducción de la carga impositiva que sufre actualmente y una mejora de su competitividad con respecto a otras centrales europeas supondría un verdadero alivio para ella y mejoraría sus condiciones económicas, las cuales son la base para poder asegurarse su operatividad en el futuro y una mejora en las inversiones, que repercutirían sobre su rendimiento y la mejora de las instalaciones, incluso la construcción de nuevas centrales.

- Programa de inversiones en el parque nuclear español.

Ante una más que probable renovación de la fecha límite de explotación de las centrales nucleares españolas, estas se verán obligadas a realizar múltiples actualizaciones en diferentes aspectos, como operatividad y seguridad. Estas inversiones son fundamentales para que las centrales puedan operar, tanto por responsabilidad como para cumplir con la normativa vigente. Por ello, es completamente necesario que las empresas eléctricas propietarias de las centrales nucleares creen nuevos planes y estrategias de inversión para estas. Esto permitirá mejorar las condiciones del parque nuclear y mejorar sus condiciones de explotación, lo que podría suponer un aumento significativo del período de operatividad de las centrales y mejorar la rentabilidad de estas a largo plazo. No obstante, este programa debe ir acompañado necesariamente de las diferentes medidas destinadas a mejorar la rentabilidad de las centrales nucleares, ya que como se ha analizado anteriormente, esta cuestión es la piedra angular sobre la que orientar todas las decisiones futuras relativas a las centrales nucleares.

Además de las inversiones en la renovación de las centrales nucleares actuales, sería de gran interés realizar estudios que permitan analizar la idoneidad de invertir

en el uso de reactores nucleares de cuarta generación. En un futuro a muy corto plazo, estos reactores serán una realidad total y permitirán ser importados desde países en los que exista una industria dedicada a su fabricación, como es el caso de Rusia. Por tanto, ante la futura posibilidad de importar reactores nucleares como si fuese una especie de maquinaria industrial, puede que ofreciese interesantes resultados invertir en estas nuevas tecnologías en lugar de solo plantearse alargar la vida de antiguas instalaciones.

Como ejemplo a esta propuesta existe el ejemplo de un estudio (PwC, 2021) realizado sobre la futura creación en Ontario (Canadá) de un pequeño reactor modular de cuarta generación, conocidos como SMR. En términos económicos, el estudio elaborado por PwC indica que de los 2.000 millones de dólares invertidos en su construcción:

- Se obtendrá un aumento de 1.283 millones de dólares en el PIB.
- Se generarán 1.712 puestos de trabajo durante siete años con unos sueldos totales por valor de 1.130 millones de dólares.
- Se recaudarán en forma de impuestos 462 millones de dólares.

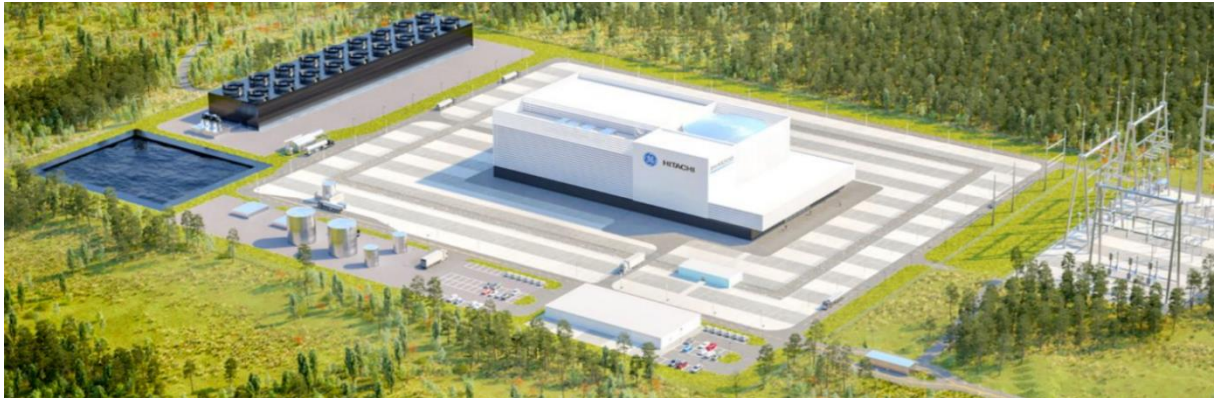
Estos datos solo hacen referencia a la propia construcción de las instalaciones. En cuanto a la repercusión de la puesta en marcha de la instalación se obtiene que, ante un gasto anual de 35 millones de dólares en tareas de mantenimiento:

- Se obtendrá un beneficio anual del PIB de 1.015 millones de dólares.
- Se generarán 197 puestos de trabajo a tiempo completo con una duración de al menos 60 años, con unos sueldos totales anuales por valor de 768 millones de dólares.
- Se recaudarán anualmente en forma de impuestos 303 millones de dólares.

Además de estos datos, se considera que esto llevaría a la construcción de nuevos reactores de este tipo en otras zonas del territorio canadiense, de forma que Canadá podría llegar a convertirse en una potencia en la construcción de estas instalaciones en otros países, debido a la experiencia adquirida y al aumento de industria auxiliar que se crearía en torno a estos reactores.

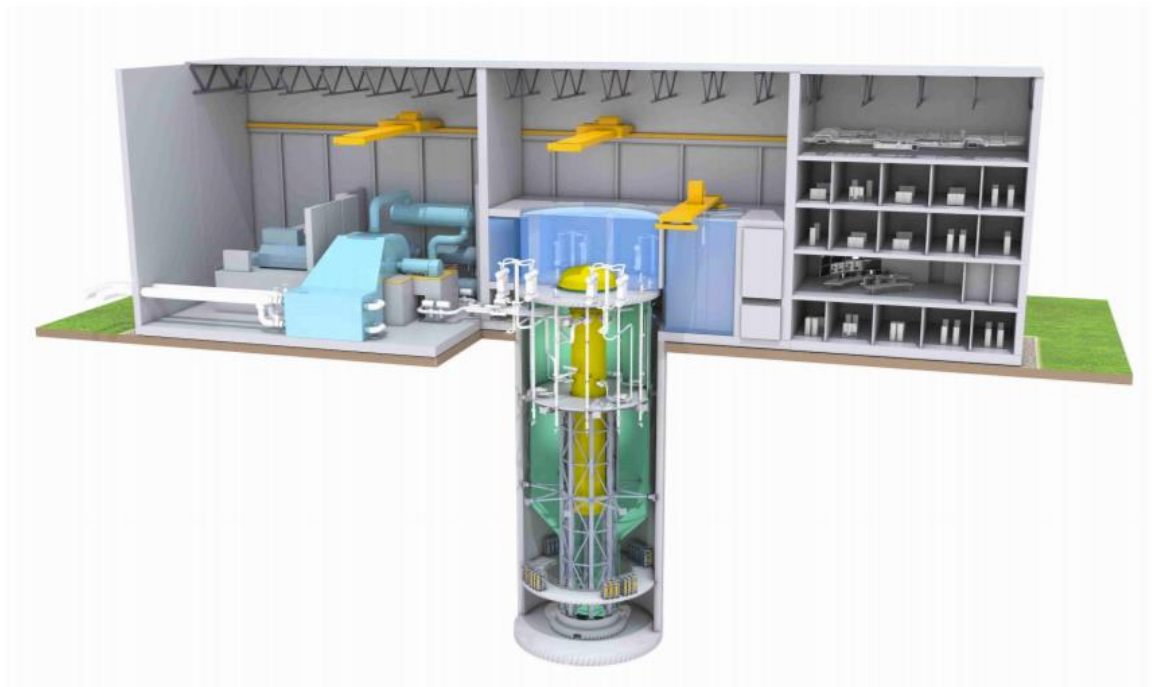
Fuera del exitoso impacto socioeconómico previsto, otro de los principales motivos para la puesta en marcha en estos reactores es el objetivo de Canadá de ser neutros en emisiones de CO₂ en el año 2030 y de no emitir gases de efecto invernadero en el año 2050, de forma que consideran que estos reactores nucleares pueden ser sus mejores aliados. Los esquemas de este proyecto pueden consultarse en la Ilustración 13 e Ilustración 14.

Ilustración 13. Diseño exterior del proyecto de central nuclear con reactor SMR (Ontario, Canadá).



Fuente: <https://www.pwc.com>

Ilustración 14. Esquema del reactor SMR.



Fuente: <https://www.pwc.com>

- Programa energético basado en aspectos científicos que valoren todas las alternativas.

En la actualidad, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, en el que se indica el futuro cierre de las centrales nucleares, resulta algo contradictorio si se analizan los resultados ofrecidos por la Comisión de Expertos de Transición Energética. Como ya se ha mostrado anteriormente en el proyecto, los resultados de este comité de expertos arrojan importantes desventajas que podrían acompañar al cierre planificado de las centrales nucleares. Debido a esto, se considera de total importancia usar los criterios reales y los datos aportados por científicos para la toma de decisiones de esta magnitud. Así, resulta primordial que los planes ejecutados por los gobiernos vayan en sintonía con los análisis científicos realizados, en lugar de encontrarse enfrentados como ocurre actualmente.

- Programa de evaluación de las alternativas nucleares para el futuro.

Teniendo en cuenta el panorama energético actual, resultaría de gran ayuda no solo evaluar si la demora del cierre de las centrales nucleares traería consigo mejores o peores repercusiones. Debido a las altas inversiones necesarias para continuar la explotación de estas centrales, resultaría de gran interés evaluar si pudiera ser más rentable a largo plazo crear nuevas centrales nucleares, basadas en la tecnología de los reactores de cuarta generación que ya están comenzando a utilizarse. Si esta evaluación se realizase junto con los objetivos de creación de centrales eléctricas renovables, se podrían obtener resultados de gran interés para conocer si la construcción de la cantidad justa y necesaria de nuevas centrales nucleares junto con el avance de las renovables supusiese la mejor opción de futuro para España.

- Programa definitivo para la gestión de los residuos nucleares.

Se debe crear un plan que proyecte definitivamente la construcción de un ATC, o por el contrario, se indique al sector nuclear que este proyecto no se vaya a realizar, por lo que la industria nuclear pueda enfocar más recursos en los almacenes que se utilizan actualmente. Es una clara desventaja para el sector que exista incertidumbre sobre estos temas, por lo que, si finalmente no se construyese un ATC, es probable que los recursos que la industria invierta en ATI's sean mayores, pudiendo avanzar

tecnológicamente en ellos al convertirse estos definitivamente en su apuesta de futuro. Pero para que se llegue a esta situación, la incertidumbre y el baile de decisiones debe finalizar.

- Programas de desarrollo tecnológico.

Tanto las empresas poseedoras de las centrales nucleares como toda la industria auxiliar existente, debe seguir invirtiendo en el desarrollo tecnológico e investigación que han permitido la llegada de los reactores de cuarta generación y que están permitiendo la investigación en fusión nuclear. Es posible que en España la energía nuclear deje de ser utilizada o se encuentre en una pésima situación, pero en una industria tan globalizada como la nuclear, tanto las empresas inversoras como la industria auxiliar podrán seguir invirtiendo en desarrollar el sector, ya que podrán ofrecer sus servicios en todo el mundo, algo que ya ocurre hoy en día. Es decir, su percepción de la industria no debe ser nacional, sino global.

- Programas de marketing y campañas publicitarias.

Actualmente, la población recibe una gran cantidad de publicidad de forma constante, a través de la televisión, la radio, navegando por internet y en las redes sociales. Por tanto, cualquier sector que invierta en publicidad puede obtener grandes beneficios, ya que prácticamente todos los sectores de la población van a recibir esa información de una forma u otra. Debido a esto, siempre desde un criterio científico y respetuoso, buenas campañas de publicidad podrían mejorar mucho la visión general que existe sobre la energía nuclear.

Junto a la publicidad, también podría resultar interesante que en los centros educativos se ejecutasen campañas de concienciación, igual que ocurre con diferentes cuestiones como la seguridad vial o el consumo de drogas. Estas campañas no deberían enfocarse únicamente en la energía nuclear, sino más bien introducirla dentro de las alternativas que pueden ayudar a mejorar la situación medioambiental actual. No solo se debe informar a la población sobre la energía nuclear, sino también sobre como tener un estilo de vida más sostenible, reduciendo la generación de residuos, emisiones, etc.

Por último, dentro de este programa podría resultar tremendamente beneficiosa la introducción en el mundo de las redes sociales. Actualmente existen algunos profesionales del sector nuclear que realizan la función de divulgadores científicos dentro del propio sector. Sin embargo, sería un gran complemento para ellos que dentro de la industria nuclear existiese un equipo destinado a hacerse cargo de esta labor, de forma que se muestre al mundo exterior como funcionan las centrales nucleares, los procesos que se llevan a cabo dentro de ellas y la gran profesionalidad existente dentro del sector. No hay mejor forma de acercarse a la población que usar la tecnología para entrar en sus hogares y hacerles sentir que se encuentran dentro de una central nuclear o dentro de las industrias que existen dentro del sector, pudiendo satisfacer su curiosidad y generando un interés cada vez mayor. Esto no solo familiarizaría a la población con la industria nuclear, sino que haría que el nivel de conocimientos y la percepción global mejorasen, de la misma forma que se vería de una forma más natural esta industria, perdiéndose ese miedo a lo desconocido.

7.3. Implicación de los actores necesarios.

Expuesta la situación actual en la que se encuentra el sector, así como sus principales necesidades, resulta evidente que para que el sector nuclear mejore, el principal implicado y el que más responsabilidad posee es el Gobierno de España. De él dependen tanto las decisiones legales que recaen sobre esta industria como las condiciones en las que desempeña su actividad. No obstante, dadas las situaciones expuestas a lo largo del proyecto, los gobiernos autonómicos también son una parte fundamental en las decisiones que se tomen, ya que cuentan con independencia suficiente como para facilitar la supervivencia del sector nuclear como para entorpecer las decisiones del gobierno central. Por tanto, todos los diferentes equipos de gobierno existentes en España, independientemente de la escala en la que se encuentren, deben llegar a una posición conjunta y definitiva que permita tener una clara visión sobre el futuro que espera a la industria nuclear.

Como en todos los sectores, no se puede hacer caer toda la responsabilidad sobre los gobiernos. La industria nuclear debe seguir apostando por una fuerte inversión en I+D+I, que le permita avanzar y ofrecer grandes resultados frente a otras alternativas energéticas. Cuanto más avance la industria nuclear, más posibilidades

tendrá para asentarse en el futuro, ya sea a nivel nacional u ofreciendo sus servicios en el ámbito internacional.

7.4. Medición de los resultados.

Dado el caso de que las medidas sugeridas anteriormente fuesen implantadas, y considerando una posible modernización de las instalaciones utilizadas y los tipos de reactores, se debería prestar atención a los siguientes resultados:

- Rentabilidad de explotación de las centrales nucleares. Se debe analizar la rentabilidad para conocer si las medidas permiten que el sector pueda desarrollar su actividad de forma que la situación actual en la que las centrales nucleares operen en pérdidas deje de ser una realidad.
- Aportación al PIB y desarrollo de la industria nuclear y su industria auxiliar. Si se aumenta y extiende el uso de la energía nuclear, toda la industria auxiliar existente alrededor de la misma vería mejorada sus circunstancias, de forma que no solo se produciría una mejora de esta industria a nivel nacional, sino que mejorarían las condiciones para llevar sus servicios más allá de las fronteras españolas. De la misma forma, es de vital importancia medir la generación de empleo producida gracias al desarrollo de esta industria, así como la evolución tecnológica del sector que permita a España colocarse como uno de los países punteros en el desarrollo de las tecnologías asociadas.
- Emisiones de gases de efecto invernadero. Un aumento del porcentaje de energía eléctrica procedente de la tecnología nuclear desbancaría del mercado a otras tecnologías que emiten gases de efecto invernadero. Una reducción de estas emisiones no solo mejoraría las condiciones medioambientales, sino que permitirían a España cumplir con la normativa europea que busca reducir al máximo este tipo de emisiones.
- Nivel de inversiones. La implantación de las medidas propuestas no solo mejoraría el panorama nuclear español, sino que también mejoraría el entorno de todas las industrias relacionadas con energías renovables. Esto convertiría a España en un país en el que resultase atractivo realizar inversiones en infraestructuras, ya que, si existiesen unas bases legales sólidas y unos fuertes planes de futuro, se eliminaría la incertidumbre que limita la aparición de estas inversiones. Un

aumento de las inversiones supondría que el país va por buen camino en términos energéticos.

- Concienciación social. Es primordial analizar si la mejora de la divulgación asociada a la industria nuclear permite que la percepción social de la misma mejore, de forma que deje de ser una industria demonizada y que tanto sus ventajas como sus desventajas se perciban de una forma mucho más objetiva, técnica y proporcionada.

8. CONCLUSIÓN.

La industria nuclear y el uso de la energía nuclear se encuentran actualmente en una situación de incertidumbre global, ya que mientras algunos países se encuentran en proceso de cambiar sus centrales nucleares por centrales de energías renovables o de combustibles fósiles, otros países se encuentran apostando fuertemente por la tecnología nuclear. En el caso de España, se ha optado por cerrar las centrales nucleares existentes en el futuro a corto plazo. No obstante, esta decisión, a pesar de considerarse como definitiva, despierta ciertas dudas respecto a su viabilidad debido principalmente a la ausencia de centrales eléctricas renovables que puedan compensar la desaparición de las centrales nucleares, siendo las únicas que podrían aumentar su producción para compensar el cierre de estas las centrales de ciclo combinado

La situación en la que se ha encontrado la industria nuclear a lo largo de su historia siempre ha sido algo complicada. Es costumbre encontrarla mencionada en el centro de discusiones políticas, siendo utilizada como arma arrojada entre los diferentes sectores políticos. Por otro lado, esta industria se ha encontrado constantemente salpicada por el sensacionalismo de la prensa, resultando familiar para cualquier lector como se recurre a la exageración y al dramatismo en las noticias que surgen relacionadas con el panorama nuclear. Todo esto ha ido erosionando la mentalidad de la población, que muchas veces asocia a la industria nuclear únicamente las connotaciones negativas sin considerar aspectos positivos que esta aporta a la sociedad, siendo el principal motivo de esta situación el desconocimiento generado debido a las cuestiones anteriores.

A pesar de la situación actual, es necesario centrarse en el futuro y evitar nuevas guerras que pongan obstáculos al posible desarrollo de esta industria. Independientemente de que las centrales nucleares españolas vayan a ser cerradas en las fechas previstas o se acabe aumentando el permiso de explotación a través de un aumento de su vida útil, es vital que no salga adelante la medida que busca cobrar derechos de emisión de CO₂ a las centrales nucleares, así como reducir la alta carga fiscal a la que hacen frente, ya que si las centrales continúan operando en pérdidas se corre el riesgo de que estas acaben cerrando antes de lo previsto por falta de rentabilidad. Además, el desarrollo de medidas que mejoren la situación económica de estas centrales permitiría que se valorase la posibilidad de invertir en el futuro en centrales que usen una tecnología mucho más moderna, como es el caso de reactores de IV generación, que ante sus mejoras en seguridad, eficiencia y generación de residuos podrían provocar que las centrales nucleares fuesen mucho mejor consideradas y se evitasen los problemas que han sufrido las centrales españolas a lo largo de su historia. Esto también afectaría positivamente a la industria nuclear en general, ya que un sector tan especializado y con grandes empresas como las que hay en España, que empezarán a verse afectadas por la desnuclearización de importantes países, necesitarán de una apuesta nacional fuerte por la energía nuclear para poder mantener sus condiciones actuales.

Por otro lado, en el caso de que las centrales nucleares sean cerradas finalmente, parece poco indicado la construcción de un ATC español, ya que para cuando se hubiese construido, los recintos de las centrales nucleares tendrían suficiente capacidad de almacenamiento para los residuos generados. En el caso de que se hiciese una fuerte apuesta por el uso de energía nuclear, sería una gran ventaja contar con un almacén nacional de estas características. No obstante, si sería de vital importancia la construcción de un AGP, a nivel europeo o en cooperación con distintas potencias, que permita almacenar los residuos nucleares de gran parte del mundo y de forma definitiva, reduciéndose mínimamente los riesgos para el medioambiente a medio y largo plazo. Esta medida debería ser adoptada finalmente independientemente de que se continúe o no usando energía nuclear, ya que los residuos producidos hasta ahora deben tener un lugar para ser depositados definitivamente.

En definitiva, la energía nuclear aún puede tener un papel muy importante en el sector energético a nivel mundial. Actualmente es la única fuente energética que es capaz de producir una gran cantidad de energía sin emitir gases de efecto invernadero, los cuales son el mayor problema al que se enfrenta la humanidad desde el punto de vista medioambiental, ya que son los responsables del cambio climático que se vive actualmente. Por muy buenas que sean las centrales eléctricas renovables y el brillante futuro que tienen por delante, necesitan de un fuerte aliado que les apoye a lo largo de su completo desarrollo, y este aliado debe ser la energía nuclear y no los diferentes tipos de centrales de combustión de combustibles fósiles que están volviendo a surgir en algunas naciones. La apuesta por las centrales nucleares es simplemente la solución que parece ser más práctica a la grave situación medioambiental en la que nos encontramos actualmente, siendo este un problema que debe dejar de ignorarse y sobre el que es vital actuar y tomar las riendas de la situación para que sea solucionado. Es cierto que la energía nuclear puede suponer ciertos riesgos y que se generan residuos peligrosos, pero parece que estos riesgos tienen menor peso en comparación con los riesgos de abandonar esta fuente de energía.

9. BIBLIOGRAFÍA.

Alfredo García, @OperadorNuclear. (2021). La energía nuclear salvará el mundo (2.^a ed.). Planeta.

¿Qué es la energía nuclear? (2020, 2 junio). Foro Nuclear.
<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/que-es-la-energia-nuclear/>

Interacción débil. (s. f.). Química.es. Recuperado 25 de febrero de 2021, de
https://www.quimica.es/enciclopedia/Interacci%C3%B3n_d%C3%A9bil.html

¿Qué es la radiactividad? (2017, 25 mayo). ULPGC - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. <https://www.ulpgc.es/sprlyupr/que-es-radiactividad>

Planas, O. (2020, 25 noviembre). ¿Qué es un isótopo? energia-nuclear.net.
<https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/atomo/isotopo>

Sociedad Nuclear Española. (2020, marzo 19). ¿Por qué se enriquece el uranio? sne.es.
<https://www.sne.es/preguntas-y-respuestas/funcionamiento-centrales-nucleares/por-que-enriquece-uranio/>

Etapas para la obtención del combustible nuclear a partir del uranio. (2020, 10 julio). Foro Nuclear. <https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/etapas-para-la-obtencion-del-combustible-nuclear-a-partir-del-uranio/>

Reactores de agua a presión (PWR) - CSN. (s. f.). Consejo de Seguridad Nuclear. Recuperado 1 de marzo de 2021, de <https://www.csn.es/reactores-de-agua-a-presion-pwr->

Sociedad Nuclear Española. (2020b, marzo 19). ¿Por qué algunas centrales nucleares tienen grandes torres de refrigeración y otras no? sne.es. <https://www.sne.es/preguntas-y-respuestas/funcionamiento-centrales-nucleares/por-que-centrales-nucleares-torres-refrigeracion/>

Energía nuclear en España - CSN. (s. f.). Consejo de Seguridad Nuclear. Recuperado 3 de marzo de 2021, de <https://www.csn.es/la-energia-nuclear-en-espana>

Romero De Pablos, A. R. P. (2012, agosto). Poder político y poder tecnológico: El desarrollo nuclear español (1950–1975) (N.o 21). <https://digital.csic.es/bitstream/10261/180423/1/12-CTS-RomeroDePablos.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Centrales Nucleares en España. (s. f.). [energia.gob.es](https://energia.gob.es/nuclear/Centrales/Espana/Paginas/CentralesEspana.aspx). Recuperado 8 de marzo de 2021, <https://energia.gob.es/nuclear/Centrales/Espana/Paginas/CentralesEspana.aspx>

Sociedad Nuclear Española. (2012, 4 diciembre). período de latencia. sne.es. <https://www.sne.es/diccionario-nuclear/periodo-de-latencia/>

Unzueta, P. (1982, 6 mayo). Angel Pascual Mújica fue ametrallado por dos jóvenes en presencia de la escolta y de su hijo, de 18 años. EL PAÍS. https://elpais.com/diario/1982/05/06/espana/389484004_850215.html

Enresa. (s. f.). Desmantelamiento de la CN Vandellós I. Enresa. Recuperado 10 de marzo de 2021, de <https://www.enresa.es/esp/inicio/actividades-y->

proyectos/desmantelamiento-y-restauracion-medioambiental/desmantelamiento-de-la-cn-vandellos-i

Desmantelamiento de la CN José Cabrera. (s. f.). Enresa. Recuperado 10 de marzo de 2021, de <https://www.enresa.es/esp/inicio/actividades-y-proyectos/desmantelamiento-y-restauracion-medioambiental/desmantelamiento-de-la-cn-jose-cabrera>

Redacción y Agencias Barcelona, R. Y. (2017, 1 agosto). El Gobierno cierra la central nuclear de Garoña de forma definitiva. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/natural/20170801/43264221102/central-nuclear-garrona-cierra.html>

Cerrillo Barcelona, A. (2019, 19 febrero). El apagón nuclear se retrasa. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/natural/actualidad/20190219/46562236147/apagon-se-retrasa-nucleares.html>

Aleasoft Energy Forecasting. (2019. 1 mayo.). El periódico de la energía. Recuperado 10 de marzo de 2021, de <https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-nuclear-en-espana-50-anos-en-la-base-del-sistema-electrico/>

¿Qué es un almacén temporal individualizado (ATI)? (2020, 16 mayo). Foro Nuclear. [https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/que-es-un-almacen-temporal-individualizado-ati/#:%7E:text=Un%20Almac%C3%A9n%20Temporal%20Individualizado%20\(ATI\)%20es%20una%20instalaci%C3%B3n%20en%20la,de%20una%20central%20nuclear%20para](https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/que-es-un-almacen-temporal-individualizado-ati/#:%7E:text=Un%20Almac%C3%A9n%20Temporal%20Individualizado%20(ATI)%20es%20una%20instalaci%C3%B3n%20en%20la,de%20una%20central%20nuclear%20para)

Enresa. (2020, 8 julio). Hacia un nuevo Plan General de Residuos Radiactivos. Revista Nuclear España. <https://www.revistanuclear.es/ciclo-combustible/hacia-un-nuevo-plan-general-de-residuos-radiactivos/>

Enresa. (s. f.). Enresa. Recuperado 15 de marzo de 2021, de <https://www.enresa.es/esp/inicio/actividades-y-proyectos/inventario-nacional#:%7E:text=Clasificaci%C3%B3n%20de%20los%20residuos%20radiactivos,>

Residuos%20de%20baja&text=Aquellos%20cuya%20actividad%20se%20debe,bajo
%20y%20se%20encuentra%20limitado.

Page, D. (2020, 21 febrero). El Gobierno descarta Villar de Cañas y buscará otras ubicaciones para el cementerio nuclear. El Independiente. <https://www.elindependiente.com/economia/2020/02/21/el-gobierno-descarta-villar-de-canas-y-busca-otras-ubicaciones-para-el-cementerio-nuclear/>

Page, D. (2020, junio 12). Las nucleares exigen a Ribera un solo cementerio de residuos radiactivos en España y que esté listo “cuanto antes”. El Independiente. <https://www.elindependiente.com/economia/2020/03/04/las-nucleares-exigen-al-gobierno-un-solo-cementerio-en-espana-y-que-este-cuanto-antes/>

Ojea, L. (2019, 6 junio). El periódico de la energía. Recuperado 20 de marzo de 2021, de <https://elperiodicodelaenergia.com/el-sector-nuclear-ve-innecesario-construir-el-atc-el-gran-cementerio-de-residuos-radiactivos/>

Fernández Munguía, S. (2021, 8 enero). Cómo funciona el mercado eléctrico y por qué, a pesar de que el precio a veces llegue a cero, apenas va a. . . Xataka. <https://www.xataka.com/energia/como-functiona-mercado-electrico-que-a-pesar-que-precio-a-veces-llegue-a-cero-apenas-va-a-repercutir-nuestra-factura-1>

Nabalía Energía. (2018, 9 julio). Nabalía Energía. Recuperado 25 de marzo de 2021, de <https://nabaliaeenergia.com/blog/pool-electrico-espana/>

Muñoz Barrios, A.(2021, 15 febrero).¿Por qué el mercado eléctrico es marginalista?. El periódico de la energía. Recuperado 25 de marzo de 2021, de <https://elperiodicodelaenergia.com/por-que-el-mercado-electrico-es-marginalista/>

de Benito, J. L. (2020, 19 octubre). La viabilidad económica del parque nuclear español tiene que estar garantizada, por Antonio González. Energy News. <https://www.energynews.es/antonio-gonzalez-energia-nuclear-en-espana/>

Rodríguez, D. P. (s. f.). Introducción a la problemática de los CTC. Holtrop. Recuperado 28 de marzo de 2021, de <https://www.holtropblog.com/es/index.php/blog->

uk/renovables/555-introduccion-a-la-problematica-de-los-
ctc#:~:text=Los%20Costes%20de%20Transici%C3%B3n%20a,Directiva%2096%
2F92%2FCE.

Comisión de expertos. (2018, abril). Comisión de Expertos de Transición Energética. Análisis y propuestas para la descarbonización. http://www6.mityc.es/aplicaciones/transicionenergetica/informe_cexpertos_20180402_veditado.pdf

Red Eléctrica de España. (2020, diciembre). El sistema eléctrico español. Previsión de cierre 2020. https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2020/Prevision_Cierre_2020_Enviado_17122020.xlsx

REData - Estructura generacion. (2017, 1 enero). Red Eléctrica de España. https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion?start_date=2017-01-01T00:00&end_date=2020-12-31T23:59&time_trunc=year&systemElectric=nacional

REData - Estructura generacion. (s. f.). Red Eléctrica de España. Recuperado 1 de abril de 2021, de <https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion>

FORO NUCLEAR. (2019). Foro Nuclear. Recuperado 31 de abril de 2021, de <https://www.foronuclear.org/resultados2019/#p=10>

PwC España & Foro Nuclear. (2015, febrero). Impacto socioeconómico de la industria nuclear en España. PwC España. <https://www.nuclenor.org/public/otros/impactosocio.pdf>

¿Qué es la energía primaria según el nuevo CTE? (2020, 15 febrero). Greenheiss. <https://www.greenheiss.com/que-es-la-energia-primaria-segun-el-nuevo-cte/>

Quienes somos. (2021, 26 enero). AMPHOS21. <https://www.amphos21.com/quienes-somos/>

Espluga Trenc, J., B. Medina, A. Presas, M. Rubio-Varas y J. De la Torre. 2017. "Las dimensiones sociales de la percepción de la energía nuclear. Un análisis del caso

español (1960-2015)". Revista Internacional de Sociología 75(4):e075. doi:
<http://dx.doi.org/10.3989/ris.2017.75.4.17.02>

Foro Nuclear. (2015, julio). Encuesta de opinión pública sobre la energía nuclear.
<http://www.amac.es/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-encuesta-opni%C3%B3n-p%C3%BAblica-julio2015.pdf>

Ecomodernism. (2019, 20 abril). HiSoUR Arte Cultura Historia.
<https://www.hisour.com/es/ecomodernism-34769/#:%7E:text=Ecomodernism%20es%20una%20filosof%C3%ADa%20ambienta%20l,impactos%20antropog%C3%A9nicos%20del%20mundo%20natural.>

Greenpeace. (s. f.). Energía nuclear. Greenpeace España. Recuperado 8 de abril de 2021, de <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/energia-nuclear/>

Noviembre de 2003. El caso del pez mutante. (2008, 3 julio). Libertad Digital.
<https://www.libertaddigital.com/sociedad/noviembre-de-2003-el-caso-del-pezmutante--1276334059/>

Estudio de Comunicación & Servimedia. (2018, septiembre). INFLUENCIA DE LAS NOTICIAS FALSAS EN LA OPINIÓN PÚBLICA. Estudio de Comunicación.
https://www.servimedia.es/sites/default/files/documentos/informe_sobre_fake_news.pdf

Universidad Rey Juan Carlos, & Curiel Correa, C. (2013, noviembre). La influencia de los medios de comunicación en la globalización del riesgo.
https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/11920/CARLOS%20CURIEL%20CORREA_TFG_NOV-13.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Domínguez, N. (2011, 26 abril). Otros once Chernóbil siguen vivos. Público.
<https://www.publico.es/ciencias/otros-once-chernobil-siguen-vivos.html>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2013). Evaluación de los riesgos para la salud del accidente nuclear posterior al terremoto y maremoto del Japón de 2011, basada en una estimación preliminar de la dosis de radiación.

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78385/WHO_HSE_PHE_2013.1_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

UNSCEAR. (2014, mayo). UNSCEAR: El accidente de Fukushima.
https://www.unscear.org/docs/revV1407900_Factsheet_S_ENG.pdf

Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II A.I.E. (ANAV). (2015). PROPUESTA DE DICTAMEN TECNICO. PROPUESTA DE APRECIACIÓN FAVORABLE DE LA SOLICITUD DE INSTALACIÓN DE RECOMBINADORES PASIVOS AUTOCATALÍTICOS (PAR) DE HIDRÓGENO EN LA CONTENCIÓN DE CN ASCÓ I Y CN ASCÓ II. <https://www.csn.es/documents/10182/878175/1367+-+4+Informe+-+CN+Asc%C3%B3+I+y+II+Instalaci%C3%B3n+de+recombinadores+pasivos+autocatal%C3%ADticos+%28PAR%29+de+hidr%C3%B3geno+en+la+contenci%C3%B3n/cd4fec18-5590-44c3-bf22-139f28eddc59>

López, J. C. (2019, 2 abril). Reactores nucleares más pequeños, limpios, seguros y baratos: Esto es lo que nos promete la fisión nuclear de. . . Xataka.
<https://www.xataka.com/investigacion/reactores-nucleares-pequenos-limpios-seguros-baratos-esto-que-nos-promete-fision-nuclear-cuarta-generacion>

Foro Nuclear (2020, 25 junio). Características y ventajas de los reactores modulares pequeños (SMR). <https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/caracteristicas-y-ventajas-de-los-reactores-modulares-pequenos/>

Deuterio. (s. f.-b). Quimica.es. Recuperado 20 de abril de 2021, de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Deuterio.html>

Tritio. (s. f.). Quimica.es. Recuperado 20 de abril de 2021, de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Tritio.html>

Sobre la producción de Tritio | CIEN. (2015, 1 abril). CienChile.
<http://cienchile.cl/ventajas-y-desventajas-de-producir-tritio-usando-reactores-termicos-en-vez-de-reactores-de-fusion/>

ITER (s. f.). ITER. Recuperado 21 de abril de 2021, de <https://www.iter.org/>

Foro Nuclear. (2020, 5 mayo). Período de semidesintegración.
<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/glosario-de-terminos/semidesintegracion-periodo-de/>

CSN. (s. f.). Clasificación de residuos radiactivos. Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.csn.es/gl/clasificacion-de-residuos-radiactivos>

Enresa. (s. f.). Residuos de Alta Actividad. Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.enresa.es/esp/inicio/actividades-y-proyectos/residuos-de-alta-actividad>

CSN. (s. f.). Consejo de Seguridad Nuclear. Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.csn.es/gl/almacenamiento-temporal-centralizado>

CSN. (s. f.). Consejo de Seguridad Nuclear. Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.csn.es/gl/almacenamiento-geologico-profundo>

¿Qué es la sostenibilidad? (s. f.). Sostenibilidad.com. Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/que-es-la-sostenibilidad/>

¿Qué es la sostenibilidad ambiental? (s. f.). ECOticias.com. Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.ecoticias.com/sostenibilidad/132018/sostenibilidad-ambiental#:~:text=La%20sostenibilidad%20ambiental%20es%20la,continuidad%2C%20entonces%20no%20son%20sostenibles.>

World Nuclear News. (2021, 24 febrero). BN-800 fast reactor has first full refuelling with MOX fuel : Uranium & Fuel -. Recuperado 24 de abril de 2021, de <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/BN-800-fast-reactor-fully-loaded-with-MOX-fuel>

World Nuclear News. (2020, 27 agosto). Rosatom plans REMIX fuel fabrication at Seversk facility : Uranium & Fuel. Recuperado 24 de abril de 2021, de <https://world-nuclear-news.org/Articles/Rosatom-plans-REMIX-fuel-fabrication-at-Seversk-fa>

Qué es el cambio climático. (s. f.). miteco.gob. Recuperado 24 de abril de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/el-cambio-climatico/>

Gases de efecto invernadero. (2020, 28 mayo). HealingEarth.
https://healingearth.ijep.net/es/climatico/gases-de-efecto-invernadero#footnote1_tbpnblx

Caitlyn Kennedy, & Rebecca Lindsey. (2018, 10 abril). ¿Cuál es la diferencia entre el calentamiento global y el cambio climático? Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/%C2%BFcu%C3%A1l-es-la-diferencia-entre-el-calentamiento-global-y-el-cambio-clim%C3%A1tico>

Global Warming of 1.5 °C. (s. f.). Global Warming of 1.5 °C. Recuperado 24 de abril de 2021, de <https://www.ipcc.ch/sr15/>

ThePowerMBA, E. (2020, 5 noviembre). Las 5 fuerzas de Porter: análisis de las fuerzas competitivas de una empresa. <https://www.thepowermba.com/es/business/las-5-fuerzas-de-porter/>

Activa Conocimiento. (2016, 18 diciembre). Las Cinco Fuerzas de Porter. <http://activaconocimiento.es/las-cinco-fuerzas-de-porter/#:%7E:text=Las%20Cinco%20Fuerzas%20de%20Porter%20es%20un%20modelo%20que%20nos,de%20nuestra%20estrategia%20de%20negocio>

¿Sabes qué es una compañía comercializadora eléctrica? (2018, 2 septiembre). Voltio Energía. <https://voltioenergia.es/comercializadora-electrica-voltio/#:%7E:text=Una%20compa%C3%B1%C3%ADa%20comercializadora%20el%C3%A9ctrica%20es,las%20centrales%20hasta%20el%20usuario.+https://economipedia.com/definiciones/oligopolio.html>

Usuarios de redes sociales en España. (2021, 10 marzo). epdata.es. Recuperado 25 de abril de 2021, de <https://www.epdata.es/datos/usuarios-redes-sociales-espana-estudio-iab/382>

La pila de hidrógeno: ¿Es el hidrógeno el combustible del futuro? (2020, 1 febrero). energyavm.es. <https://www.energyavm.es/la-pila-de-hidrogeno-es-el-hidrogeno-el-combustible-del-futuro/>

EcoInventos. (2021, 22 marzo). La primera batería de hidrógeno doméstica almacena el triple de energía que una Powerwall 2. <https://ecoinventos.com/primera-bateria-de-hidrogeno-domestica/>

Energías Renovables. (2020, diciembre 4). Bosch anuncia las soluciones de hidrógeno que vienen: caldera doméstica, para producción de calefacción y de agua caliente. Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. <https://www.energias-renovables.com/hidrogeno/la-caldera-domestica-de-hidrogeno-para-produccion-20201204>

Aleasoft Energy Forecasting (2020, 22 enero). El hidrógeno verde es el combustible del futuro. El periódico de la energía. Recuperado 28 de abril de 2021, de <https://elperiodicodelaenergia.com/el-hidrogeno-verde-es-el-combustible-del-futuro/>

Olivos, S. (s. f.). Qué es el hidrógeno verde o renovable | Capital Energy. Recuperado 28 de abril de 2021, de <https://capitalenergy.com/blog/el-hidrogeno-verde-el-combustible-del-futuro>

Riquelme, M. (2014, 5 mayo). Las seis barreras de entrada de Michael Porter. Web y Empresas. <https://www.webyempresas.com/las-seis-barreras-de-entrada-de-michael-porter/>

Sociedad Nuclear Española. (2020, marzo 19). ¿Es muy caro el kilovatio-hora procedente de una central nuclear? sne.es. <https://www.sne.es/preguntas-y-respuestas/produccion-electrica-origen-nuclear/es-muy-caro-el-kilovatio-hora-procedente-de-una-central-nuclear/>

Comisión Nacional de Energía de Chile. (2020, marzo). INFORME DE COSTOS DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN. <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf>

Enresa. (2020, 8 julio). Hacia un nuevo Plan General de Residuos Radiactivos. Revista Nuclear España. <https://www.revistanuclear.es/ciclo-combustible/hacia-un-nuevo-plan-general-de-residuos-radiactivos/>

Esteller, R. (2020, 11 abril). Las nucleares entran en pérdidas por los impuestos y la caída de precios. elEconomista.es. <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/10473769/04/20/Las-nucleares-entran-en-perdidas-por-los-impuestos-y-la-caida-de-precios.html>

Infoautónomos. (s. f.). Guía fundamental del Análisis DAFO. Infoautónomos.com. Recuperado 1 de mayo de 2021, de <https://www.infoautonomos.com/plan-de-negocio/analisis-dafo/>

Jiménez, F. S. (2018, 15 octubre). ¿Qué son los beneficios caídos del cielo (windfall profit) de las eléctricas y por qué les han supuesto un . . . elEconomista.es. <https://www.eleconomista.es/mercados-cotizaciones/noticias/9451698/10/18/Que-son-los-beneficios-caidos-del-cielo-windfall-profit-y-por-que-su-eliminacion-supone-un-cortocircuito-en-bolsa.html>

Roca, R. (2021, 3 junio). Las centrales nucleares avisan al Gobierno: el hachazo aboca al cierre de las plantas ya que no están amortizadas y actualmente están en pérdidas. El periódico de la energía. Recuperado 1 de mayo de 2021, de <https://elperiodicodelaenergia.com/las-centrales-nucleares-avisan-al-gobierno-el-hachazo-aboca-al-cierre-de-las-plantas-ya-que-no-estan-amortizadas-y-actualmente-estan-en-perdidas/>

Aleasoft Energy Forecasting. (2021, 3 junio). El recorte de ingresos a la hidroeléctrica y la nuclear podría poner en peligro las inversiones para la transición energética. 86. <https://elperiodicodelaenergia.com/el-recorte-de-ingresos-a-la-hidroelectrica-y-la-nuclear-podria-poner-en-peligro-las-inversiones-para-la-transicion-energetica/>

Ledo, S. (2021, 30 abril). La especulación con los derechos de emisión de CO2 dispara el precio de la luz en abril. elperiodico.com. <https://www.elperiodico.com/es/economia/20210430/especulacion-derechos-emision-co2-precio-luz-abril-11692985>

Aleasoft Energy Forecasting. (2020, 15 julio). El impuesto del 7% a la producción de electricidad perjudica tanto a los consumidores como a la competitividad de los generadores españoles. El periódico de la energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/el-impuesto-del-7-a-la-produccion-de-electricidad-perjudica-tanto-a-los-consumidores-como-a-la-competitividad-de-los-generadores-espanoles/>

PwC. (2021, mayo). Transforming Canada's energy future: The socio-economic impact of GE Hitachi SMRs. https://nuclear.gepower.com/content/dam/gepower-nuclear/global/en_US/documents/economic-impact/Transforming%20Canada%27s%20energy%20future%20%E2%80%93%20The%20socio-economic%20impact%20of%20GE%20Hitachi%20SMRs.pdf