



GRADO EN COMERCIO
TRABAJO FIN DE GRADO

**“ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO DE LA ENERGÍA
NUCLEAR COMO FUENTE PARA LA
TRANSICIÓN ENERGÉTICA”**

FACULTAD DE COMERCIO

AUTOR: LUCÍA GARCÍA PAÚL
TUTOR: CATALINA SOTO DE PRADO OTERO

VALLADOLID

23/06/2023



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

GRADO EN COMERCIO

CURSO ACADÉMICO 2022-2023

**“ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO DE LA ENERGÍA
NUCLEAR COMO FUENTE PARA LA
TRANSICIÓN ENERGÉTICA”**

AUTOR: LUCÍA GARCÍA PAÚL

TUTOR: CATALINA SOTO DE PRADO OTERO

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad analizar el contexto de la crisis energética actual, así como sus principales condicionantes en nuestro país y el proceso de transición energética actual. Para ello, se analiza la reciente crisis energética en España de 2021 a raíz del coronavirus, la variación de precios de la luz y los distintos tipos de energía con los que contamos. Además, se expone la situación actual de la energía nuclear tanto en Europa como en España, se realiza una comparativa con una energía renovable (energía eólica en este caso) y se estudia su posible aportación a la transición energética como aliada de las energías renovables.

Palabras Clave:

Crisis energética, fuentes de energía, energías renovables, energía nuclear, energía eólica, transición energética.

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyse the context of the current energy crisis, as well as its main conditioning factors in our country and the current energy transition process. To this end, it analyses the recent energy crisis in Spain in 2021 as a result of the coronavirus, the variation in electricity prices and the different types of energy available to us. In addition, the current situation of nuclear energy both in Europe and in Spain is presented, a comparison is made with renewable energy (wind energy in this case) and its possible contribution to the energy transition as an ally of renewable energies is studied.

Key Words:

Energetic crisis, energy sources, renewable energy, nuclear energy, wind energy, energy transition.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO E INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 2. MERCADO ELÉCTRICO	8
2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA	8
2.2 SECTOR ENERGÍAS NO RENOVABLES Y RENOVABLES	9
2.3 CRISIS ENERGÉTICA	13
2.3.1 CONSECUENCIAS SOBRE LA ECONOMÍA NACIONAL	15
2.4 FIJACIÓN DEL PRECIO DE LA ENERGÍA	16
CAPÍTULO 3. SITUACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR.	21
3.1 INTRODUCCION A LA ENERGIA NUCLEAR	21
3.2 OPINIÓN PÚBLICA SOBRE LA ENERGÍA NUCLEAR	23
CAPÍTULO 4. ENERGÍA NUCLEAR EN EUROPA	24
CAPÍTULO 5. ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA	28
5.1 ESTRUCTURA DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA	28
5.2 MIX ENERGÉTICO EN ESPAÑA	31
CAPÍTULO 6. TRANSICIÓN ENERGÉTICA	34
CAPÍTULO 7. COMPARATIVA ENERGÍA NUCLEAR Y ENERGÍA EÓLICA	37
7.1 ANÁLISIS DAFO ENERGÍA NUCLEAR	37
7.2 ANÁLISIS DAFO ENERGÍA EÓLICA	40
7.3 IMPACTO ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL DE AMBAS	41
7.3.1 GENERACIÓN ELÉCTRICA Y POTENCIA INSTALADA.	41
7.3.2 IMPULSO ECONÓMICO PARA EL PAÍS	42
7.3.3 VIDA DE DISEÑO Y VIDA ÚTIL	43
7.3.4 IMPACTO AMBIENTAL	44
7.3.5 GENERACIÓN DE RESIDUOS	51
7.3.6 GENERACIÓN DE EMPLEO	52
CAPÍTULO 8. EJEMPLO CENTRAL MUNICIPIO COFRENTES, VALENCIA	54
CAPÍTULO 9. PERSPECTIVAS DE FUTURO, CONCLUSIONES Y PROPUESTAS	57
CAPÍTULO 10. BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS NO RENOVABLES	10
FIGURA 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS RENOVABLES	12
FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE (%) ESPAÑA 2019-2022	13
FIGURA 4. SITUACIÓN FICTICIA 1	18
FIGURA 5. SITUACIÓN FICTICIA 2	18
FIGURA 6. CURVAS AGREGADAS OFERTA Y DEMANDA 08/01/2021	19
FIGURA 7. CURVAS AGREGADAS OFERTA Y DEMANDA 30/01/2021	20
FIGURA 8. REACTORES NUCLEARES EN EUROPA 2022	25
FIGURA 9. MIX ELÉCTRICOS DE FRANCIA, ALEMANIA Y ESPAÑA	26
FIGURA 10. EVOLUCIÓN PRECIO MEDIO DE LA ENERGIA ELÉCTRICA	27
FIGURA 11. CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA	31
FIGURA 12. PRODUCCIÓN Y POTENCIA SEGÚN FUENTES 2022	34
FIGURA 13. ESQUEMA DEL ANÁLISIS DAFO	38
FIGURA 14. GENERACIÓN Y POTENCIA INSTALADA % NUCLEAR Y EÓLICA 2022	42
FIGURA 15. CICLO DE VIDA DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO INETNSIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	45
FIGURA 16. EMISIONES ACUMULADAS DURANTE EL CICLO DE VIDA DE NOX Y SO2 POR UNIDAD DE ENERGÍA GENERADA POR DIFERENTES TECNOLOGÍAS	47
FIGURA 17. POTENCIAL DE AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO	47
FIGURA 18. AGOTAMIENTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES	48

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. EMPRESAS PROPIETARIAS Y FECHA DE INCIO DE OPERACIÓN DE LOS REACTORES DE ESPAÑA	29
TABLA 2. GENERACIÓN POR TECNOLOGÍAS (%) SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.....	33
TABLA 3. POTENCIA INSTALADA (%) SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.....	33

CAPÍTULO 1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO E INTRODUCCIÓN

En medio de los desafíos relacionados con el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la transición energética se ha convertido en un objetivo prioritario para gobiernos, empresas y la sociedad en general. En este contexto, se ha reconocido la importancia de diversificar la matriz energética y promover el uso de fuentes de energía más limpias y sostenibles. Si bien las energías renovables juegan un papel fundamental en esta transición, existe un debate en torno a la energía nuclear y su papel en el futuro energético.

La energía nuclear ha sido objeto de controversia y ha generado opiniones encontradas debido a preocupaciones sobre la seguridad, la gestión de los residuos radiactivos y los posibles riesgos asociados. Sin embargo, en los últimos años, se ha recuperado el debate sobre la importancia de la energía nuclear como una opción viable y necesaria en la transición energética. En este trabajo, se exploran los argumentos que respaldan la inclusión de la energía nuclear como parte integral de la transición energética y se analizan sus beneficios y desafíos.

Al considerar la importancia de la energía nuclear en la transición energética, se destacarán aspectos clave como su capacidad para generar grandes cantidades de electricidad sin emisiones de carbono, su alta disponibilidad y su capacidad para proporcionar energía *baseload*, es decir, constante y estable, independientemente de las condiciones climáticas. No obstante, también se abordarán los desafíos asociados con la energía nuclear, incluida la gestión de los residuos radiactivos, la proliferación nuclear y la percepción pública negativa. Además, se compara la energía nuclear con la energía renovable, en este caso con la energía eólica por su importancia en nuestro país y su alto desarrollo. Será necesario considerar cuidadosamente estas cuestiones y desarrollar estrategias y políticas efectivas para abordarlas de manera responsable y segura.

En conclusión, este trabajo analizará la importancia de la energía nuclear en la transición energética, evaluando tanto sus beneficios como sus desafíos. Al explorar y comprender los diferentes aspectos de esta fuente de energía, se podrán tomar decisiones informadas sobre cómo abordar la creciente demanda energética de manera sostenible y afrontar los desafíos del cambio climático en el siglo XXI.

Pero fundamentalmente el reto no es sólo cambiar el modelo energético, tratar de implementar este cambio sin poner en peligro la seguridad del suministro, teniendo en cuenta la creciente demanda energética y la rentabilidad. Además, no solo es importante el reto de la transición energética si no la urgencia de descarbonizar la economía en su conjunto. Y este hecho es un hecho controvertido que casi siempre se incluye con una connotación negativa en las discusiones sobre la lucha contra el cambio climático, a pesar de que la energía nuclear es exactamente una de las tecnologías que menos CO₂ emiten a la atmósfera.

De hecho, la energía nuclear y la energía renovable pocas veces se analizan como una combinación adecuada y posible para enfrentar los desafíos del cambio climático. Por el contrario, se han analizado mayoritariamente desde la perspectiva de que la presencia de la energía nuclear puede retrasar el despliegue de las renovables, o que la defensa de las renovables depende del desmantelamiento de las centrales nucleares. Una posibilidad sería que las energías renovables y la nuclear no sean energías opuestas sino que puedan ser complementarias y sean útiles para afrontar el reto del cambio climático.

Este trabajo tiene un carácter bibliográfico porque recopila información de diversas fuentes de bases de datos reconocidas (artículos científicos, libros sobre la temática, estudios previos de diversos autores).

Este TFG se ha estructurado en siete capítulos. El primero consiste en la parte introductoria del tema. El segundo se analiza el funcionamiento del mercado eléctrico a grandes rasgos y las causas de la crisis energética actual. En tercer capítulo se expone la situación de la energía nuclear seguido por el cuarto y quinto capítulo donde se exponen la posición de esta energía en Europa y en España. El sexto se centra en la transición energética que vivimos en la actualidad, tanto a nivel nacional como europeo y mundial. El séptimo capítulo es una comparativa de la energía nuclear con la energía eólica, elegida por ser la primera fuente de generación renovable de España en 2022. Además, se espera que esta energía crezca en los próximos años dentro de las energías renovables. En el octavo y noveno capítulo sitúan la energía nuclear en otros países y la perspectiva de futuro donde se detallará las conclusiones principales.

CAPÍTULO 2. MERCADO ELÉCTRICO

2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA

El siguiente apartado se va a centrar en el sector de la energía. Más adelante se analizarán las decisiones tomadas en España en este sector y cómo nos ha afectado en la actualidad.

Según el Foro de la Industria Nuclear Española 2020, la energía se define como la capacidad que poseen los cuerpos para poder realizar un trabajo a raíz de su constitución (energía interna), de su posición (energía potencial) o de su movimiento (energía cinética). En un sentido más general, es la capacidad que tiene un cuerpo de producir algún cambio en sí mismo. Cambios tanto físicos como químicos: calor, luz, desplazamiento, reacciones químicas, variación de estado... Es una magnitud homogénea con el trabajo, por lo que se mide en las mismas unidades, es decir en julios en el Sistema Internacional. Según la forma o el sistema físico en que se manifiesta, se consideran diferentes formas de energía: térmica, mecánica, eléctrica, química, electromagnética, nuclear, luminosa, etc. Se pueden clasificar las distintas fuentes de energía según diferentes criterios:

- Sean o no sean renovables. Las energías no renovables, que son aquellas que existen con una cantidad limitada y no se renuevan en el corto plazo. En este gran grupo podemos encontrar fuentes como el carbón, el petróleo o el gas natural. En el pasado, estas fuentes de energía se han utilizado sin ningún tipo de medida, hasta el momento en que se han dado cuenta de su naturaleza limitada y dañina hacia el medio ambiente. Por el contrario, las fuentes de energía renovables son aquellas cuyo potencial es inagotable, por provenir de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de otros planetas de nuestro sistema solar.
- Según su grado de disponibilidad: convencionales o en desarrollo. Fuentes de energía convencionales son aquellas que tienen una participación importante en los balances energéticos de los países industrializados. Es el caso del carbón, petróleo, gas natural, energía hidráulica y nuclear. Por el contrario, se llaman fuentes de energía no convencionales, o nuevas fuentes de energía, a las que, por estar en una etapa de desarrollo tecnológico en cuanto a su

utilización generalizada, no cuentan con participación apreciable en la cobertura de la demanda energética de esos países. Es el caso de la energía solar, eólica, mareomotriz y biomasa.

- Según su forma de utilización. Energías primarias o utilizadas directamente y energías secundarias o finales que son aquellas que han sufrido un tipo de transformación anterior a su uso, como la electricidad.

2.2 SECTOR ENERGÍAS NO RENOVABLES Y RENOVABLES

Según el Foro de la Industria Nuclear Española 2020, las energías no renovables engloban todas las fuentes fósiles, como puede ser el petróleo, el gas natural y el carbón; y la energía nuclear. Son fuentes de energía de uso frecuente y extendido en el mundo. Su distribución geográfica es amplia, han supuesto un papel clave en el impulso industrial y producen mucha cantidad de energía por unidad de tiempo. Su impacto medioambiental es alto por lo que cada día se busca avanzar en el desarrollo de energías limpias.

- El petróleo se extrae de rocas sedimentarias en las que se han acumulado residuos de animales y plantas durante millones de años hasta dar como resultado el compuesto químico que conocemos. Este mismo se usa como combustible para vehículos y todo tipo de maquinaria o para la fabricación de plásticos, fibras sintéticas, explosivos o abonos con fines agrarios. Dentro de los combustibles fósiles es la fuente energética que mayor protagonismo tiene a nivel mundial.
- El carbón es una roca sedimentaria utilizada como combustible fósil, de color negro y muy rico en carbono. Suele localizarse bajo una capa de pizarra y sobre otra de arena y arcilla. Resultado de una serie de transformaciones sobre restos vegetales acumulados en lugares pantanosos, lagunas y deltas fluviales, principalmente durante el periodo carbonífero de la Era primaria. Representa el 27% de la energía primaria mundial que se necesita y genera el 41% de la electricidad del mundo.
- El gas natural es un hidrocarburo, compuesto por otros gases ligeros, con el metano predominante, entre un 75% y un 95%. El resto de componentes son propano, butano, nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, helio y

argón. El desarrollo del empleo del gas natural se ha realizado con posterioridad al uso del petróleo. El gas natural que aparecía en casi todos los yacimientos petrolíferos se quemaba como un residuo más. A pesar de su enorme poder calorífico no se podía aprovechar, por los grandes problemas que planteaban su almacenamiento y transporte. Los usos del gas natural son como combustible doméstico e industrial ya que tiene un gran poder calorífico y como combustible, en remplazo de la gasolina y el carbón. Su uso ha ido creciendo en muchos países ya que es una alternativa más económica y respetuosa con el medio ambiente. Su pequeña ventaja sobre el petróleo y derivados es que se puede quemar de forma más limpia, es decir, apenas emite dióxido de carbono ni sulfuros, aunque si emita otros tipos de hidrocarburos al medio ambiente.

- La energía nuclear es aquella que se genera mediante el proceso en el que se desintegran los átomos que suelen ser de uranio. Esta energía calorífica hace hervir el agua que se encuentra en los reactores nucleares y se transforma en energía eléctrica mediante turbinas.

FIGURA 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS NO RENOVABLES

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Se extraen de regiones específicas</p> <p>Se pueden almacenar</p> <p>Producen gran cantidad de energía por unidad de tiempo</p> <p>No dependen de fenómenos atmosféricos</p>	<p>Su extracción y uso emite gran cantidad de gases de efecto invernadero</p> <p>Sus reservas son limitadas</p> <p>Altos costes de extracción de los recursos</p>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se denominan fuentes de energía renovables a aquellas cuyo potencial es inagotable por provenir de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de otros planetas de nuestro sistema solar. Se trata principalmente de la energía eólica, solar, biomasa, biocombustibles, geotérmica, hidroeléctrica.

Las energías renovables tienen una distribución desigual en España. En lo referente al sector eléctrico, nuestro país ha sido un referente en integración de

renovables en el sistema eléctrico. Por ello, a pesar del parón de los últimos años, más del 40% de nuestra electricidad fue renovable en 2022, según Red Eléctrica Española (REE)¹

- La energía eólica es la energía producida por el viento. Fue de las primeras fuentes de energía utilizadas por el hombre. Los barcos de vela y los molinos de viento son las primeras manifestaciones del aprovechamiento energético de la energía eólica. En la actualidad existen sistemas para aprovechar la energía cinética del viento y transformarla, posteriormente, en energía eléctrica mediante los aerogeneradores. Para ello se instala una torre en cuya parte superior existe un rotor con múltiples palas, orientadas en la dirección del viento. Las palas o hélices giran alrededor de un eje horizontal que actúa sobre un generador de electricidad.
- La energía solar es aquella que se obtiene a partir del sol en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta). Mediante la instalación de paneles solares o colectores, se puede utilizar para obtener energía térmica (sistema foto térmico) o para generar electricidad (sistema fotovoltaico).
- La energía de la biomasa La biomasa es, por tanto, materia orgánica utilizada como fuente energética. Por su amplia definición, la biomasa abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
- Los biocombustibles son aquellos combustibles renovables que se obtienen a través de recursos naturales o de residuos orgánicos, tanto de origen animal como vegetal (biomasa).
- La energía geotérmica aprovecha el calor del interior de la tierra para que pueda ser utilizada. Se trata simplemente de energía derivada del calor interno de la Tierra. Está contenida en la roca y los fluidos que se hallan bajo la corteza terrestre. Está presente en cualquier geografía, pero solo se puede aprovechar en localizaciones con unas condiciones físicas concretas.

¹ REE: Red Eléctrica de España es una de las filiales del grupo multinacional español de empresas Red Eléctrica Corporación, el cual actúa como operador del sistema eléctrico tanto a nivel nacional como internacional.

- La energía hidráulica es una fuente renovable que ha tenido y tiene una importancia destacable en el abastecimiento energético mundial. Su funcionamiento consiste en el aprovechamiento del movimiento del agua. Esto permite la obtención de electricidad gracias al aprovechamiento de la energía cinética y potencial de las corrientes de agua. Es una energía limpia y renovable, que utiliza la fuerza de los arroyos, los ríos y saltos de agua.
- Su aportación creció bastante a lo largo de las décadas de los años 60, 70 y 80, llegando a alcanzar el 6% del consumo total. En la actualidad, el uso más frecuente de la energía hidráulica es para producir electricidad. Para que nos hagamos una idea, las instalaciones de energía hidráulica en España representan el 11% de toda la energía eléctrica generada.

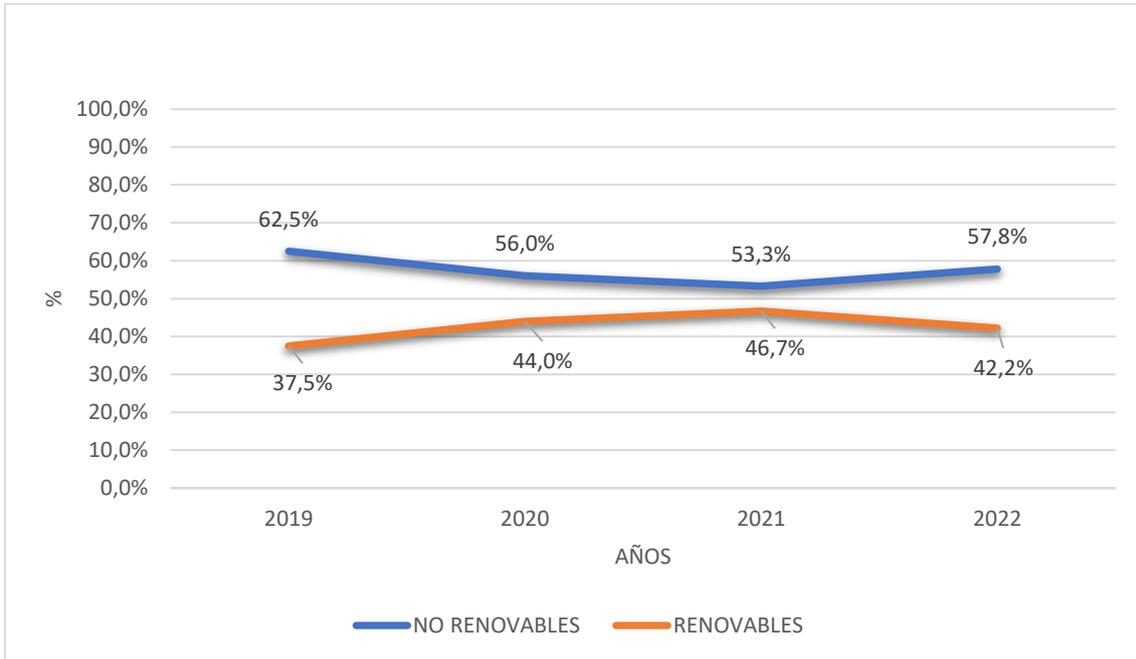
FIGURA 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS RENOVABLES

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Son ilimitadas	Su inversión inicial es muy elevada
Su impacto ambiental es menor que las no renovables	No tiene disponibilidad inmediata
Generan estabilidad económica al aportar autonomía a la zona	Necesitan un gran espacio para la instalación y desarrollo de los sistemas de generación
Bajo riesgo de accidentes	Su naturaleza es difusa

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La generación de energía en España en los últimos años tiene la siguiente forma (Figura 3). Los datos disponibles de lo que llevamos de año 2023 muestran un 48,2% de no renovables y un 51,8% de renovables, es decir, un aumento de generación renovables notable.

FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE (%) ESPAÑA 2019-2022



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de REData, 2022

En lo que llevamos de año 2023, ambas curvas se están equiparando, con valores en torno al 50%, según REData.

2.3 CRISIS ENERGÉTICA

Es el desajuste temporal entre la oferta y la demanda energética que normalmente se soluciona con fuertes incrementos de los precios de las distintas energías. Esto último se da en el caso de que la oferta sea superada por la demanda. En una economía de mercado el precio de los productos energéticos, tales como el petróleo, el gas o la electricidad se comportan según un principio de oferta y demanda que puede ocasionar cambios repentinos en el precio de la energía cuando cambia la oferta o la demanda. No obstante, en algunos casos una crisis energética se debe a una imposibilidad del mercado de ajustar los precios en respuesta a una disminución de la materia disponible. En otros casos, la crisis puede estar influenciada por la falta de un mercado libre. Algunos economistas han discutido que la crisis energética de 1973 fue empeorada por el control de precios. Las crisis pueden generarse de dos formas diferentes:

- Cuando los consumidores demandan una cantidad de energía que los productores no son capaces de abastecer.
- Cuando los productores generan exceso de energía para que los consumidores lo absorban.

En el primer caso el consumidor final suele salir más perjudicado, ya que no solamente provocan una subida de precios de la gasolina, calefacción y electricidad, sino que también provocan una inflación generalizada y bajada de productividad.

Actualmente España se encuentra en esta situación de crisis energética desde 2021. Una de las principales causas fue:

Aumento de demanda de energía. Tras los confinamientos y las restricciones de 2020, el año 2021 arrancó con hambre de consumo. La gente tenía ganas de salir a la calle, comprar y recuperar sus vidas. Sin embargo, una industria dormida (para ahorrar los gastos de una producción que nadie iba a demandar) no es tan fácil de poner de nuevo en marcha. La reapertura de la economía mundial a lo largo de 2021 ha provocado cuellos de botella en la producción, y una demanda de energía imposible de satisfacer. Y esto ha contribuido a subir los precios.

Según OMIE (Operador del Mercado Ibérico de energía) el mercado eléctrico es un sistema mediante el cual se determina el precio mayorista de la electricidad. Está formado por:

<ul style="list-style-type: none">• Generadores: productores de la electricidad
<ul style="list-style-type: none">• Operador del sistema: encargado de regular el funcionamiento y operación de la red de transporte. (Red eléctrica de España REE)
<ul style="list-style-type: none">• Distribuidoras: encargadas de llevar la electricidad desde la red de transporte hasta los hogares.
<ul style="list-style-type: none">• Comercializadoras: intermediarios entre la red eléctrica y los consumidores.
<ul style="list-style-type: none">• Consumidores: clientes finales

Este mercado eléctrico pone de acuerdo a las comercializadoras con los generadores y posteriormente las comercializadoras venderán la energía comprada al usuario final, bajo unas determinadas condiciones.

En España, el operador del mercado, encargado de establecer los mecanismos legales para que los compradores y los vendedores puedan hacer dicha compraventa de la energía es el OMIE

. Se trata de un sistema de libre mercado, por lo que la generación y comercialización de energía es libre, aunque el Estado intervenga en aspectos de transporte y mantenimiento de redes (REE).

Todos los países de la Unión Europea tienen su propio sistema o NEMO (operador de mercado eléctrico designado, del inglés: Nominated Electricity Market Operator) y el de España, como hemos mencionado es OMIE.

2.3.1 CONSECUENCIAS SOBRE LA ECONOMÍA NACIONAL

La crisis tiene numerosas consecuencias, como el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, la subida de los precios de la electricidad y una mayor dependencia de fuentes de energía extranjeras. Las consecuencias de la crisis energética pueden tener repercusiones de gran alcance en nuestra economía, el medio ambiente y nuestras relaciones internacionales. Algunas de ellas se enumeran aquí:

- Subida de los precios de la electricidad, que encarecieron el coste de la vida y ejerciendo presión sobre los hogares y las empresas.
- Reducción de la demanda y caída de los precios del petróleo: La pandemia de COVID-19 y las medidas de confinamiento implementadas en todo el mundo redujeron drásticamente la demanda de petróleo y sus derivados, lo que llevó a una caída significativa en los precios internacionales del petróleo. Esto afectó la economía española, ya que España es un importador neto de petróleo y gas. La disminución de los precios del petróleo tuvo un impacto negativo en las compañías petroleras y en los ingresos fiscales del gobierno.
- Menor actividad económica y disminución de la demanda energética: Durante el confinamiento y las restricciones asociadas a la pandemia, la actividad económica en España se vio considerablemente reducida. Muchas empresas

suspendieron o redujeron su producción, especialmente en sectores como la industria, la construcción y el turismo.

- Pérdida de empleos en el sector energético: La reducción de la actividad económica y la disminución de la demanda energética llevaron a la pérdida de empleos en el sector energético en 2020. Muchas empresas tuvieron que reducir su personal o implementar medidas de suspensión temporal de contratos debido a la falta de actividad. Esto generó un aumento en la tasa de desempleo y afectó negativamente el bienestar económico de los trabajadores y sus familias.
- Aumento de las emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes a raíz de la quema de combustibles fósiles.
- Inseguridad energética e impacto en la generación renovable: aunque las energías renovables han crecido significativamente en España, la crisis provocó incertidumbre y retrasos en la implementación de nuevos proyectos. La falta de inversión y la reducción de demanda energética afectaron a la competitividad y desarrollo de estas.

La crisis energética y financiera desatada por los acontecimientos del año 2022 provocaron numerosos cambios en la regulación del sector energético, aumentando así la incertidumbre regulatoria. Lo cual desalenta y desanima a los inversores a invertir en el sector energético europeo.

2.4 FIJACIÓN DEL PRECIO DE LA ENERGÍA

Una explicación sencilla y rápida nos la ofrece el Operador del mercado ibérico de la energía OMIE (2023) al establecer que lo que se vende en este mercado es energía en MWh. Se divide en mercado diario e intra diario. Cada día se determina el precio de la luz para las 24 horas siguientes, planificándolo el día anterior.

Ambos mercados funcionan de la misma manera: la presentación de ofertas de venta y adquisición de energía por parte de los productores y consumidores. Así se decide el grueso de la energía vendida para cada hora del día siguiente y también es así como acabamos pagando un precio distinto para cada hora del día en nuestra factura de la luz.

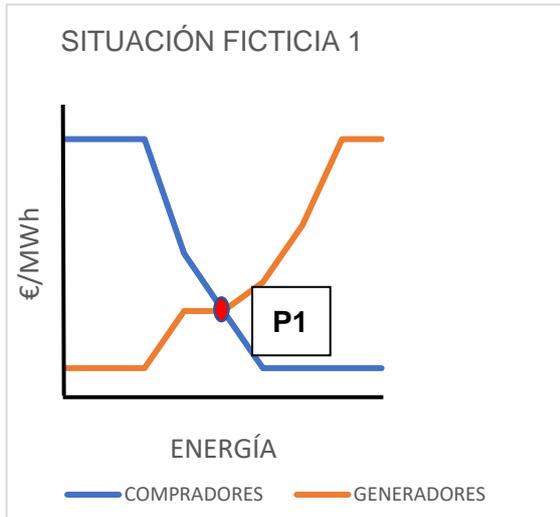
Por un lado, los compradores indican el precio máximo al que desean comprar la energía (en España existe un tope de 180€ / MWh). Por otro lado, los generadores indican el precio mínimo al que quieren vender su energía (entre 0-180€ / MWh). En una gráfica se representan todos los compradores ordenados por el precio que están dispuestos a pagar de mayor a menor. Además, se colocan los generadores ordenados por el precio al que quieren vender su energía, en este caso de menor a mayor. El punto en el que las dos curvas se cruzan es el precio acordado para toda la energía a esa hora de ese día en concreto. Se puede decir que las ofertas están “casadas”. El siguiente es un ejemplo gráfico de cómo se fija el precio en el mercado eléctrico.

En 2021, comenzaron ciertas tensiones en los mercados energéticos debido a una serie de factores, principalmente la rapidez del repunte económico que se produjo tras la pandemia. La situación fue agravándose hasta convertirse en una crisis energética mundial agravado por las sanciones impuestas a Rusia por parte de Occidente, tras la invasión a Ucrania en febrero de 2022. El precio del gas natural alcanzó máximos históricos y, en consecuencia, también lo hizo la electricidad en algunos mercados. Los precios del petróleo se situaron en su nivel máximo desde 2008.

A principios de enero de 2021 la borrasca Filomena entró en España, provocando una fuerte bajada de las temperaturas y alterando el precio del mercado. En una gráfica que representa las curvas de mercado se puede analizar lo que ocurrió. Nos encontramos en un punto de casación ² un día cualquiera a una hora cualquiera, con el punto P1 como el precio mayorista para ese momento. Veremos cómo los eventos ocurridos en Filomena alteraron esta situación normal.

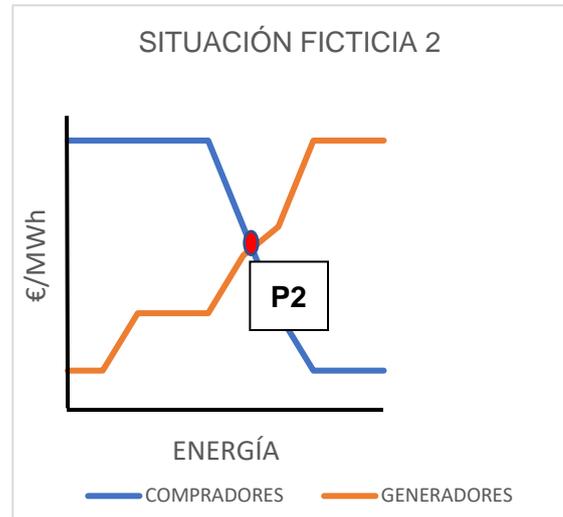
² Punto de casación: en el mercado energético, se realiza una gráfica con dos ejes (compra y venta) y se plasman todas las ofertas. El punto donde se encuentren ambos ejes, será el precio por el que se fijará la energía a esa hora. Ese punto de encuentro se llamará punto de casación.

FIGURA 4. SITUACIÓN FICTICIA 1



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 5. SITUACIÓN FICTICIA 2

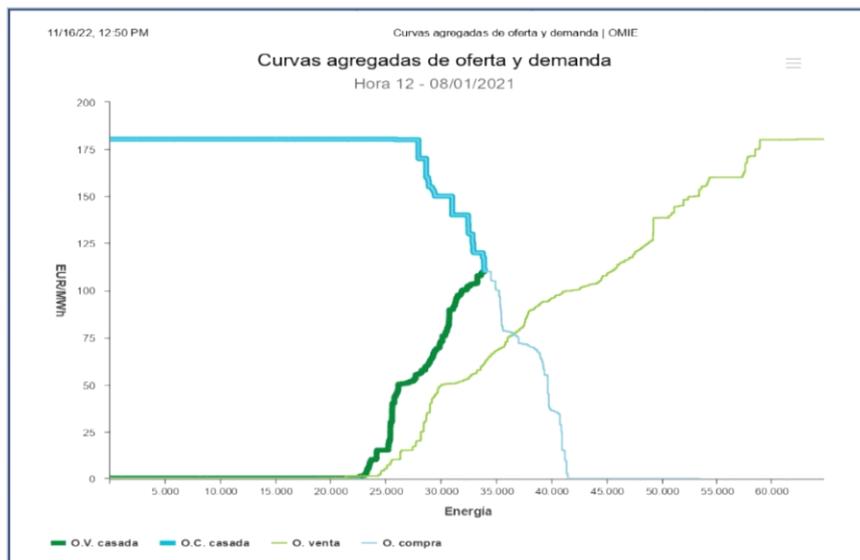


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Por ejemplo, cuando bajan las temperaturas de golpe, la gente encenderá rápido la calefacción, lo que contribuye al aumento de la demanda. Como en todo mercado, cuando hay mucha demanda de algo, los precios aumentan de manera generalizada. Al aumentar los compradores, la curva azul de demanda se desplaza hacia la derecha y el punto de corte de ambas curvas pasara a estar en un punto más elevado. Además, la borrasca trajo consigo una reducción considerable de la generación renovable, ya que las condiciones climáticas no eran convenientes, por lo que se pierde parte de la curva de oferta para la generación. Por otro lado, el precio del gas estaba muy alto en esos días, con lo que los ciclos combinados ofertaban su energía a un precio más elevado, haciendo que parte de la curva de generación se eleve. Todo esto contribuye a que el punto de casación se eleve y por lo tanto el precio mayorista de la energía sea mayor. El nuevo punto de casación P2 es notablemente superior a P1 inicial.

Ya explicado con nuestros esquemas, el siguiente grafico muestra las curvas reales del mercado según la pagina web oficial de OMIE con la curva real de casación para el día 8 de Enero de 2021, cuando tuvo lugar la borrasca “Filomena” en España. En la línea fina se puede observar la prevision de oferta y demanda de energia que habian hecho el dia anterior los generadores y las comercializadoras. El punto de corte de casacion de ambas daba un precio de 76€/MWh. Todos los factores descritos anteriormente hicieron que ese precio inicial variase notablemente. Las graficas en negrita son las que finalmente ocurrieron y en las que se puede observar como el precio final de la energia en ese momento se elevó hasta los 110,75 €/MWh.

FIGURA 6. CURVAS AGREGADAS OFERTA Y DEMANDA 08/01/2021

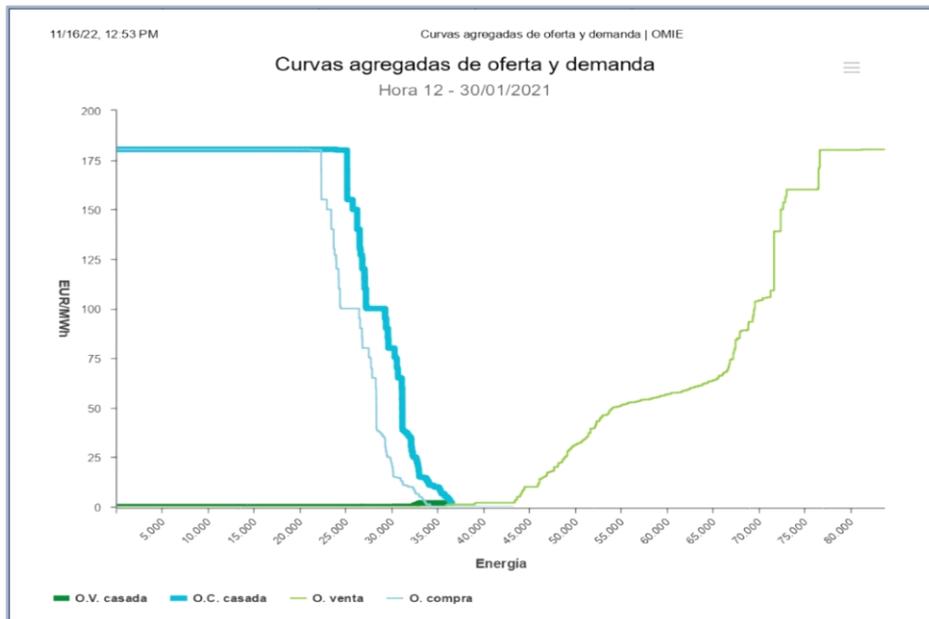


FUENTE: OPERADOR DEL MERCADO IBÉRICO DE LA ENERGÍA (OMIE)

En el mes de enero sucedió también la situación contraria. El último fin de semana del mes, en nuestro ejemplo. Unas temperaturas suaves reducían la demanda de calefacción y unas buenas condiciones de sol y viento aumentaban la generación renovable. Además al ser fin de semana la demanda eléctrica estaba más baja de lo normal, ya que no son de días laborables. Esto provoca el efecto contrario al anterior. Se reduce la demanda al mismo tiempo que aumenta la generación renovable, nos desplazamos hacia precios más bajos de la curva, teniendo un precio de casación más

bajo. El precio fue de 1,95€/MWh. Estos dos casos son situaciones poco frecuentes, dos momentos excepcionales que se dieron en un mismo mes.

FIGURA 7. CURVAS AGREGADAS OFERTA Y DEMANDA 30/01/2021



FUENTE: OPERADOR DEL MERCADO IBÉRICO DE LA ENERGÍA (OMIE)

Estas don situaciones son atípicas y generalmente las variaciones en los precios son mas sutiles. El comportamiento general del mercado eléctrico es mas estable, pero sirve como ejemplo de cómo funciona el mercado eléctrico y por qué ha habido días en los que las tarifas eran tan elevadas.

CAPÍTULO 3. SITUACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR.

3.1 INTRODUCCION A LA ENERGIA NUCLEAR

Analizado a grandes el funcionamiento del mercado eléctrico, la fijación de precios y la crisis energética, se va a analizar la energía nuclear, para conocer su panorama actual, comprobar si es una energía “verde” y compararla con una energía renovable. Las fuentes de información utilizadas para este apartado son Foro Nuclear, 2020 y Alfredo García, 2020. Se define la energía nuclear como aquella energía proveniente de reacciones nucleares o de la desintegración de los núcleos de algunos átomos. Procede de la liberación de la energía almacenada en el núcleo de los mismos.

Una central nuclear es una central termoeléctrica, es decir, una instalación que aprovecha una fuente de calor para convertir en vapor a alta temperatura un líquido que circula por un conjunto de conductos; y que utiliza dicho vapor para accionar un grupo turbina-alternador, produciendo así energía eléctrica. La tecnología nuclear se utiliza principalmente para la producción de energía eléctrica, pero tiene otras utilidades.³ Este tipo de energía se utiliza en muchos aspectos de nuestra vida y en el campo científico:

- Tecnología nuclear médica para tratar y diagnosticar enfermedades. Las aplicaciones en medicina nuclear son muy conocidas y ampliamente aceptadas. En el mundo desarrollado, las técnicas de diagnóstico y tratamiento se han vuelto tan habituales, fiables y precisas que aproximadamente uno de cada tres pacientes es sometido a alguna forma de procedimiento radiológico de diagnóstico o terapéutico. La radiación ionizante permite obtener imágenes del interior de pacientes que permite diagnosticar enfermedades y las radiaciones también se utilizan para tratar enfermedades como el cáncer. Se emplean en radiofármacos, técnicas como la radioterapia utilizada para tratar tumores, teleterapia para el tratamiento oncológico o la biología radiológica que permite esterilizar productos médicos.
- Tecnología en el sector industrial, concretamente en desarrollo y mejora de procesos industriales, mediciones, automatización, controles de calidad de materias primas de procesos industriales (cementeras, centrales térmicas, refinerías petroleras), controles de calidad de productos fabricados en serie.

³ FUENTE: <https://www.foronuclear.org/wp-content/uploads/2022/09/Monografia-aplicaciones-nucleares.pdf?x66818>

- Tecnología en la agricultura y en el control de plagas. La aplicación de isótopos⁴ en la agricultura permite aumentar la producción agrícola de los países menos desarrollados. Es útil en el control de plagas de insectos, mejora de variedades de cultivo, optimizar la eficacia de fertilizantes y del agua.
- Tecnología nuclear a la alimentación, ya que la aplicación de isotopos permite aumentar considerablemente la conservación de alimentos.
- Tecnología nuclear medioambiental. La aplicación de isótopos permite determinar las cantidades exactas de las sustancias contaminantes y lugares en que se presentan así como sus causas. También permiten detectar y analizar diversos problemas de contaminación en aguas y suelos y calcular las emisiones de CO₂.

Según el Foro de la Industria Nuclear Española (Foro Nuclear)⁵ en España, la energía nuclear ha representado a lo largo de los últimos años un 20% aproximadamente de la producción total de electricidad. A nivel mundial, la generación nuclear representa casi un 11%, con 442 reactores en situación de operar en 33 países y 58 nuevos reactores en construcción en 20 países. Estos datos han hecho que un gran número de empresas españolas hayan centrado su actividad en el sector nuclear, basándose en la experiencia gracias a su participación en el desarrollo del programa nuclear español desde sus inicios.

⁴ Isótopo: son átomos cuyos núcleos atómicos tienen el mismo número de protones pero diferente número de neutrones. Gracias a sus propiedades se pueden utilizar para la gestión del agua y del suelo, estudios medioambientales, evaluaciones de nutrición, etc. [¿Qué es un isótopo? Definición, tipos y ejemplos \(energia-nuclear.net\)](http://energia-nuclear.net)

⁵ Foro de la Industria Nuclear Española (Foro Nuclear): asociación sin ánimo de lucro que desde 1962 representa los intereses del sector nuclear de nuestro país. Agrupa a 50 empresas y organizaciones, entre las que se encuentran compañías eléctricas, centrales nucleares, empresas de ingeniería, de servicios, suministradores de sistemas y grandes componentes, así como asociaciones sectoriales, fundaciones y universidades.

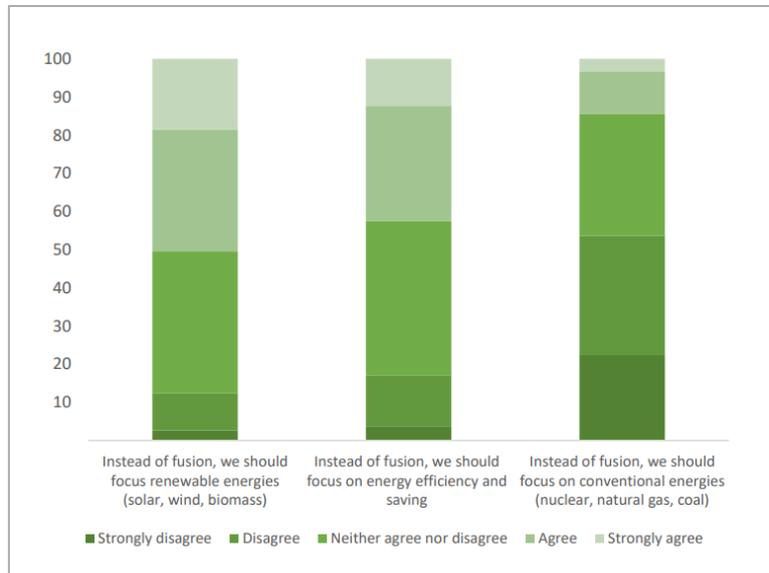
3.2 OPINIÓN PÚBLICA SOBRE LA ENERGÍA NUCLEAR

Esta fuente de energía es la que genera más debate y controversia debido a los accidentes nucleares ocurridos a lo largo de la historia.

Esta energía tiene un escaso apoyo político y público en muchos países. En general, está peor valorada que las energías renovables y otras no renovables como el gas natural. Esto es debido en gran medida a los dos principales accidentes nucleares de Chernóbil y Fukushima. La sociedad sigue preocupada por el riesgo de seguridad que supone este tipo de centrales y los materiales radiactivos asociados. En general, la población está a favor de la expansión de las fuentes renovables para proporcionar energía, mientras que ese apoyo disminuye drásticamente cuando se trata de la energía nuclear. En una encuesta europea desarrollada por EUROFUSION en abril de 2019, se preguntó a una muestra de 19.000 personas sobre la opinión de centrarse en otras tecnologías renovables y las tecnologías convencionales en vez de la nuclear, y sobre el ahorro energético.

Como se muestra en la figura siguiente, alrededor del 50% de los encuestados está de acuerdo en que se debería invertir en tecnologías renovables como la solar y la eólica en lugar de nuclear, mientras que el 37% expresó una posición neutral ante esta idea. Alrededor del 42% de los encuestados está de acuerdo en que se debería invertir en la eficiencia y el ahorro energético en lugar de la fusión, mientras que el 40% se muestra neutral, mientras que el 40% se mostró neutral al respecto. Por último el 15% de los encuestados está de acuerdo en que mejor las fuentes convencionales de energía y un 32% mantienen una posición neutral.

FIGURA 8. APOYO A LAS ALTERNATIVAS DE LA ENERGÍA NUCLEAR (EN %, MUESTRA TOTAL= N: 19.970



FUENTE: Informed Public Attitudes towards Fusion Energy in Europe, EUROFUSION 2019

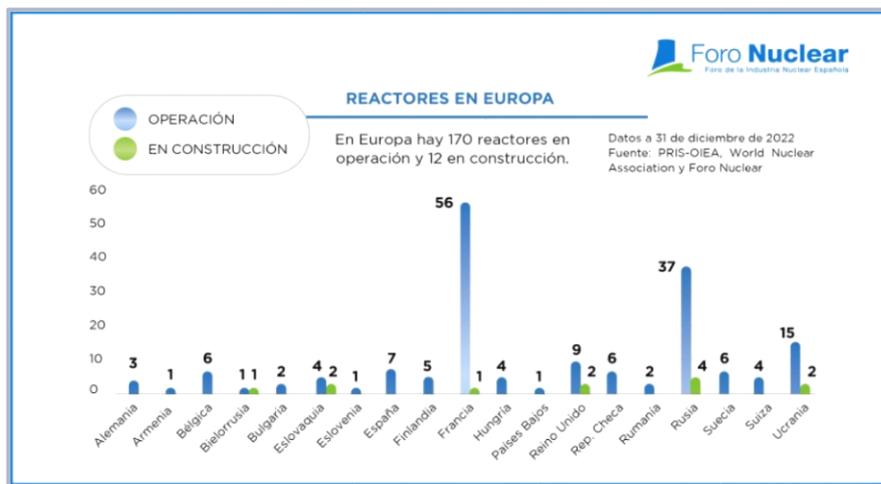
La situación actual de la energía nuclear es diversa, por un lado, algunos países están aplicando políticas de desmantelamiento de las centrales nucleares debido a la opinión pública desfavorable, y por otro lado, hay países que optan por la inversión en nuevas plantas, debido a la preocupación sobre la seguridad energética y para apoyar su transición ecológica. A pesar de ello, en los últimos años la tendencia está cambiando hacia un mayor apoyo a los reactores nucleares. Esto se debe principalmente a la subida de precios en materia energética causada por la crisis mencionada anteriormente y a la seguridad energética, es decir a la seguridad de suministro eléctrico.

CAPÍTULO 4. ENERGÍA NUCLEAR EN EUROPA

Según información de World Nuclear Association, (2022) en la Unión Europea, 13 de los 27 estados miembros tienen centrales nucleares. Hay un total de 103 reactores en operación, los cuales producen anualmente alrededor de un 26% del total de la electricidad consumida en la UE. En Eslovaquia y Francia hay otros tres reactores en construcción.

Francia es el país de la Unión Europea con más unidades nucleares, 56 reactores operativos. El 70% de su electricidad es de origen nuclear, el porcentaje más alto de todo el mundo. Seguido de Ucrania con un 55%, Eslovaquia con un 52%, Bélgica con un 50% y Hungría con un 46%. En total en la Unión Europea casi un tercio de la electricidad que se consume tiene origen nuclear. En toda Europa, hay 170 reactores en operación y 12 en construcción, como se muestra en el siguiente gráfico ofrecido por el Foro Nuclear.⁶

FIGURA 9. REACTORES NUCLEARES EN EUROPA 2022

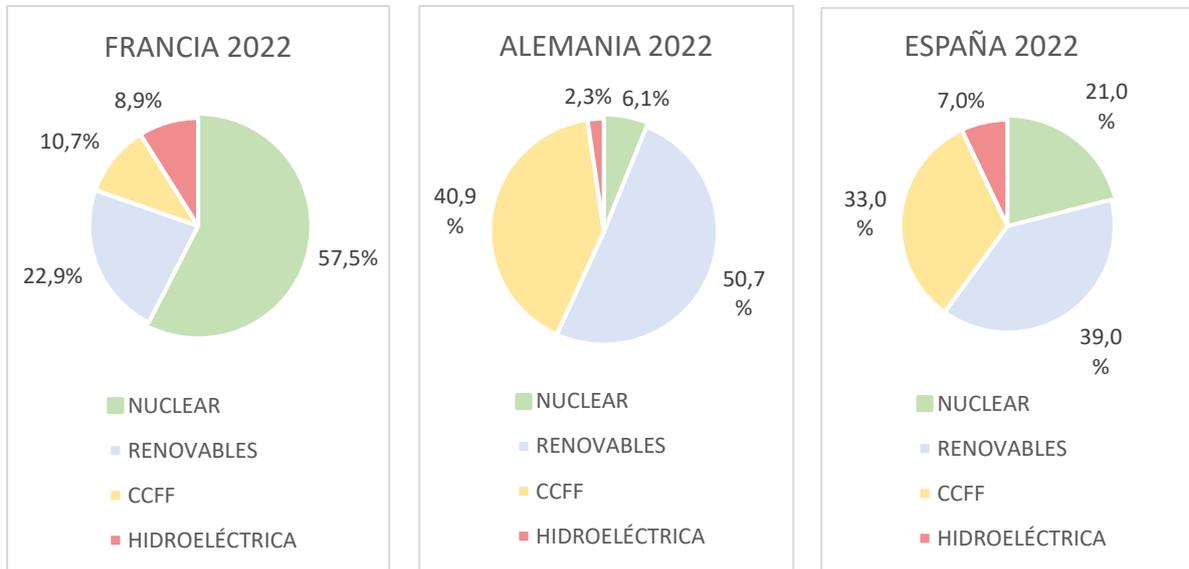


FUENTE: FORO NUCLEAR

A continuación, se analiza la energía producida en Francia, Alemania y España y de que fuentes obtienen cada uno de esos la energía total que consumen. En los siguientes gráficos se muestran los mix eléctricos de estos tres países, realizados con datos de la web Datos mundial.

⁶ En 2023, Alemania ya no cuenta con los 3 reactores que indica el gráfico, ya que se cerraron en el mes de Abril.

FIGURA 10 MIX ELÉCTRICOS DE FRANCIA, ALEMANIA Y ESPAÑA

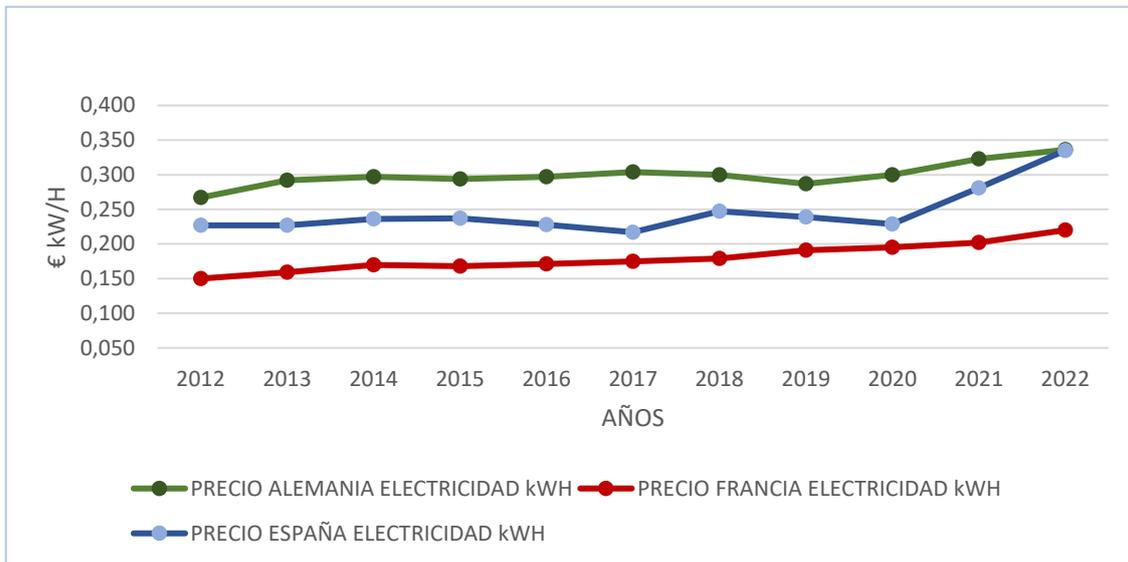


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE DATOS MUNDIAL

Podemos ver como la producción eléctrica de Francia está dominada por la energía nuclear, pero en Alemania y España el poder de las renovables es mucho mayor. Alemania en 2022 tiene un 40,9% de energía procedente de combustibles fósiles y, de los cuales importa un alto porcentaje de materias primas procedentes de Rusia, que debido a las diversas sanciones impuestas por la Unión Europea se han encarecido notablemente. Esta subida de precios ha provocado que la opinión pública empiece a mostrar su apoyo a la energía nuclear con el fin de depender lo menos posible de productos importados. Por otro lado, Alemania tiene un porcentaje destacable en energía renovable (50,7%). Esto se explica porque desde el año 2010 el gobierno alemán, impulsó un plan de energías renovables bajo el nombre “Energiewende”.⁷

⁷ “La Energiewende” es una estrategia energética y climática a largo plazo basada en el desarrollo de energías renovables y en la mejora de la eficiencia energética. Se trata de una transformación profunda del sistema energético alemán, que incluye pasar del carbón y la energía nuclear a las energías renovables. FUENTE: Ministerio de Relaciones Exteriores, RFA.

FIGURA 11. EVOLUCIÓN PRECIO MEDIO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Datosmacro, 2022

En este gráfico (gráfica 3) aparecen representados los precios de la energía eléctrica en Alemania, Francia y España desde 2012 hasta 2022 en kWh. Se puede ver como los precios más bajos los tiene Francia, debido en gran parte a su mínima dependencia de combustibles fósiles o energía importada de otros países.

Alemania por su parte actualmente es el séptimo país con la electricidad más cara de Europa, el precio medio en diciembre de 2022 ha sido de 0,336€/kWh. Pese a que en los últimos años su paso a las renovables, ha dado grandes avances aún es insuficiente para ver una disminución de sus precios finales. En el octavo puesto se encuentra España, con un precio medio en diciembre de 2022 de 0.335€/kWh. Francia ocupa el puesto vigesimoprimer, con un precio medio de 0.220€/kWh. Los precios de la electricidad por países europeos se pueden comprobar en el siguiente enlace:

<https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-precio-hogares>

CAPÍTULO 5. ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

5.1 ESTRUCTURA DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

Según World Nuclear Association (2022), España está formada por siete reactores en cinco emplazamientos. Las empresas eléctricas españolas EDP, Endesa, Iberdrola y Naturgy son las propietarias de las centrales nucleares y tienen como objetivo trabajar permanentemente por la excelencia en su gestión, comprometiéndose con la continuidad de su operación de forma segura y fiable e impulsando el crecimiento y desarrollo en sus zonas de influencia. La tecnología nuclear es la única que lleva doce años consecutivos produciendo más del 20% de la electricidad consumida en España con una potencia instalada de 7,5 GW. España no produce combustible nuclear, por lo que importa uranio enriquecido para abastecerse. La seguridad nuclear y la regulación en España son responsabilidad del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), que es el organismo encargado de supervisar y regular las instalaciones nucleares en el país. El CSN se asegura de que las centrales nucleares cumplan con las normas de seguridad establecidas a nivel nacional e internacional. España tiene un programa para la gestión de residuos nucleares, que incluye el almacenamiento temporal y la planificación de un futuro almacén geológico profundo para los residuos de alta actividad. Actualmente, los residuos nucleares se almacenan en instalaciones de almacenamiento temporal centralizado (ATC) ubicadas en El Cabril, en la provincia de Córdoba.

La mayor parte del capital que hizo falta para construir los reactores nucleares españoles fue de origen privado, como Zorita y Garoña, Almaraz, Cofrentes y Trillo. El resto de las centrales nucleares tuvieron como propietarias empresas públicas y privadas, no siendo ninguna central totalmente pública. En la actualidad, todas las centrales son totalmente privadas. En la siguiente tabla se muestran las centrales operativas en España y las empresas propietarias.

Tabla 1 EMPRESAS PROPIETARIAS Y FECHA DE INICIO DE OPERACIÓN DE LOS REACTORES DE ESPAÑA

	EMPRESA PROPIETARIA	%	INICIO DE LA OPERACIÓN COMERCIAL
ALMARAZ I	Iberdrola	53	Septiembre 1983
	Endesa	36	
	Naturgy	11	
ALMARAZ II	Iberdrola	53	Julio 1984
	Endesa	36	
	Naturgy	11	
ASCÓ I	Endesa	100	Diciembre 1984
ASCÓ II	Endesa	85	Marzo 1986
	Iberdrola	15	
COFRENTES	Iberdrola	100	Marzo 1985
TRILLO	Iberdrola	49	Agosto 1988
	Naturgy	34,5	
	EDP	15,5	
	Endesa	1	
VANDELLÓS II	Endesa	72	Marzo 1988
	Iberdrola	28	

FUENTE: Centrales nucleares y Foro Nuclear 2022

ASCÓ I Y II. TARRAGONA

Dos reactores de PWR ⁸ de 1.090MWe que comenzaron a operar en 1983 y 1985. Una central nuclear refrigerada por el río Ebro que produce el 35% de la electricidad de Cataluña.

VANDELLÓS II. TARRAGONA

Un reactor PWR de 1.087MWe que comenzó a operar en 1987. Es la única central nuclear española que se refrigera con agua del mar.

COFRENTES. VALENCIA

Un reactor BWR ⁹ de 1.102MWe que comenzó a operar en 1984. Es la única central del tipo BWR en España y la central nuclear con mayor potencia eléctrica.

TRILLO. GUADALAJARA

Un reactor PWR de 1.066MWe que comenzó a operar en 1988. Es la única central de diseño alemán y es la última central nuclear que entró en operación en España.

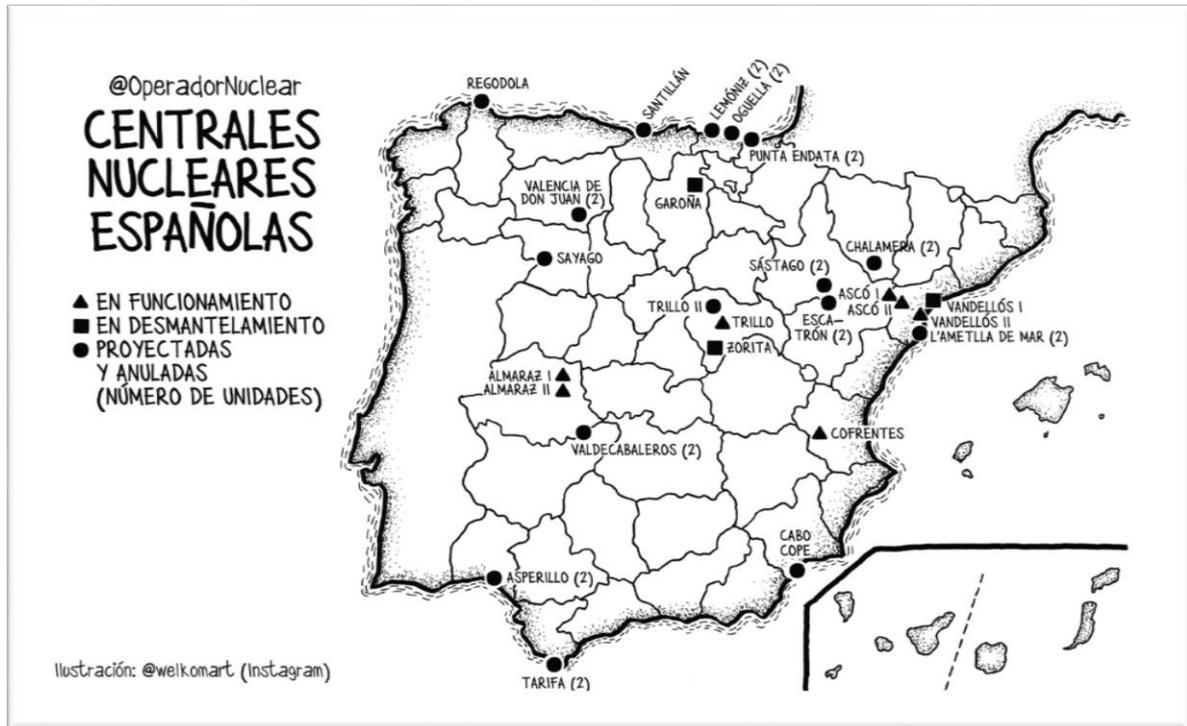
ALMARAZ I Y II. CÁCERES

Dos reactores PWR de 1.049 y 1.044MWe que comenzaron a operar en 1981 y 1983. Estos dos reactores producen más del triple de la electricidad que se consume en Extremadura y están refrigerados por un embalse artificial.

⁸ Reactores PWR: Reactor de agua a presión (PWR – Pressurized water reactor): Utilizan agua como moderador y refrigerante. El combustible utilizado es el uranio ligeramente enriquecido en forma de dióxido de uranio. Este tipo de reactor se ha desarrollado principalmente en los Estados Unidos, Rusia, Alemania, Francia y Japón

⁹ Reactores BWR: Reactor de agua en ebullición (BWR – Boiling water reactor): En este tipo de reactor, una parte del agua del refrigerante (que a la vez actúa como moderador) pasa a la fase vapor en el propio reactor. Se ha desarrollado principalmente en los Estados Unidos.

FIGURA 12. CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA



FUENTE: OPERADOR NUCLEAR

Como parte de esta transición energética, el gobierno del país ha establecido políticas para reducir la dependencia de la energía nuclear y aumentar la capacidad de generación de energía renovable. Esto incluye planes para el cierre progresivo de las centrales nucleares existentes al final de su vida útil, sin permitir la construcción de nuevas plantas nucleares. Existe un calendario de cierre para todas las centrales del país.

5.2 MIX ENERGÉTICO EN ESPAÑA

La expresión mix energético se describe como la combinación de las diferentes fuentes de energía existentes que se utilizan para cubrir la demanda eléctrica de un

país, es decir, el conjunto de tecnologías que se usan para satisfacer la demanda eléctrica.

En 2022, la producción neta de electricidad fue de 276.315 GWh, experimentando un incremento del 6,3% respecto al año anterior. La generación no renovable (nuclear, ciclo combinado, cogeneración, carbón, gas y residuos no renovables) representó el 56,4% del total de la producción, con 155.956 GWh, un 14,7% más que el año anterior, debido al fuerte aumento del 53,1% de los ciclos combinados y del 55,7% del carbón y a pesar de la significativa disminución de la cogeneración. La generación renovable (eólica, solar, hidráulica, turbinación de bombeo, residuos renovables y otras renovables) produjo un 4,0% menos, para un total de 120.359 GWh, por el fuerte descenso de la producción hidráulica llegando a su valor mínimo histórico y a pesar de que se registraron máximos de producción eólica y solar fotovoltaica.

La nuclear fue la tercera fuente de generación tras los ciclos combinados de gas natural y la energía eólica, después de diez años consecutivos entre 2011 y 2020 siendo la tecnología que mayor producción neta aportó al sistema eléctrico nacional. Produjo el 20,26% del total -prácticamente el mismo porcentaje que en el ejercicio 2021, con una cuota de potencia neta instalada de tan solo el 5,98%. La producción neta fue de 55.983 GWh, un 3,6% superior a la del año anterior.

Las siguientes tablas muestran la generación nacional por tecnologías y la potencia instalada en %. La energía generada y la potencia instalada son conceptos diferentes. La potencia instalada se mide en vatios (W), concretamente en múltiplos (KW, MW o GW), e indica la cantidad de energía que entrega un generador en un momento determinado. Para medir la energía generada, se multiplica dicha potencia por el número de horas que ha estado funcionando, por lo que se mide en Wh o en múltiplos (kWh, MWh o GWh). Para analizar tecnologías se utilizan los datos de generación, pero en este caso se muestra una comparativa entre ambas variables.

Se puede apreciar como en el año 2022 las tres energías que más aportaron a la generación eléctrica fueron el ciclo combinado (24,7%), seguida de la energía eólica (22,1%) y la nuclear (20,3%).

Si se analiza la potencia instalada en relación con la generación, se observa como el ciclo combinado y la eólica, también se encuentran entre las tres tecnologías con una mayor potencia instalada, sin embargo, en el caso de la nuclear no es así.

TABLA 2. GENERACIÓN POR TECNOLOGÍAS (%) SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

	2019	2020	2021	2022
Hidráulica	9,5	12,2	11,4	6,5
Turbinación bombeo	0,6	1,1	1,0	1,4
Nuclear	21,4	22,2	20,8	20,3
Carbón	4,9	2,0	1,9	2,8
Fuel + Gas	0,0	-	0,0	-
Motores diésel	1,1	1,0	1,0	0,9
Turbina de gas	0,3	0,2	0,2	0,2
Turbina de vapor	0,8	0,6	0,4	0,4
Ciclo combinado	21,2	17,5	17,1	24,7
Hidroeléctrica	0,0	0,0	0,0	0,0
Eólica	20,8	21,8	23,3	22,1
Solar fotovoltaica	3,5	6,1	8,1	10,1
Solar térmica	2,0	1,8	1,8	1,5
Otras renovables	1,4	1,8	1,8	1,7
Cogeneración	11,4	10,8	10,0	6,4
Residuos no renovables	0,9	0,8	0,9	0,7
Residuos renovables	0,3	0,3	0,3	0,3
Generación total	100	100	100	100

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS DE REDATA, 2022

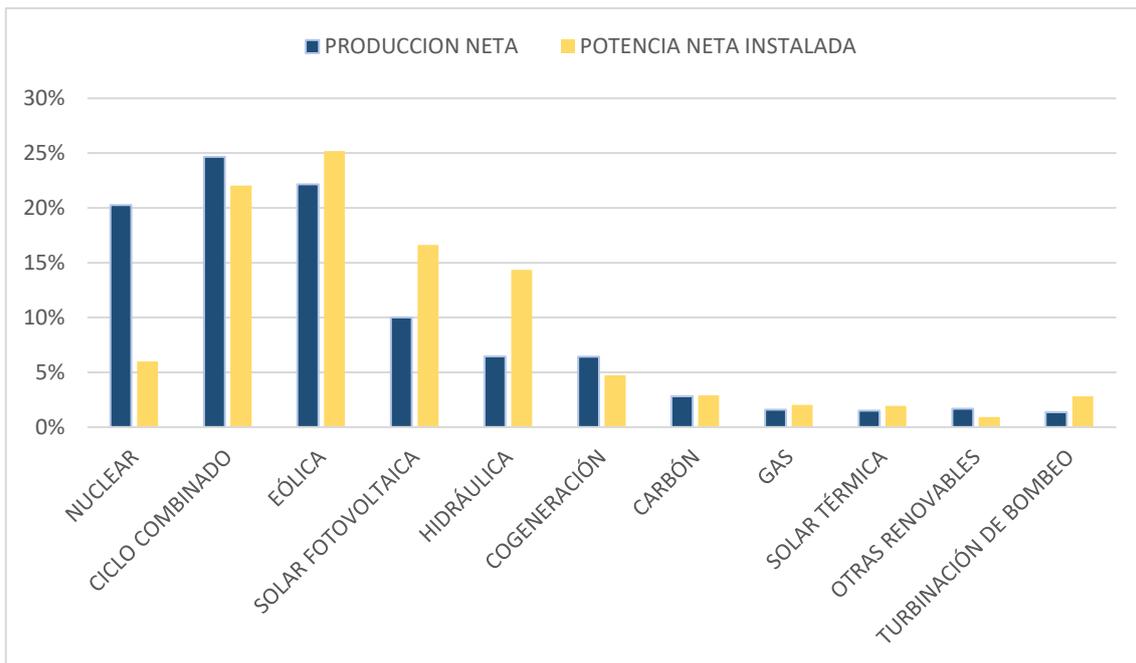
TABLA 3. POTENCIA INSTALADA (%) SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

	2019	2020	2021	2022
Hidráulica	15,5	15,4	15,1	14,3
Turbinación bombeo	3,0	3,0	2,9	2,8
Nuclear	6,5	6,4	6,3	6,0
Carbón	8,8	5,2	3,3	2,9
Fuel + Gas	0,0	0,0	0,0	0,0
Motores diésel	0,7	0,7	0,7	0,6
Turbina de gas	1,0	1,0	1,0	1,0
Turbina de vapor	0,4	0,4	0,4	0,4
Ciclo combinado	23,9	23,7	23,1	22,0
Hidroeléctrica	0,0	0,0	0,0	0,0
Eólica	23,3	24,9	25,2	25,2
Solar fotovoltaica	8,0	10,5	13,5	16,7
Solar térmica	2,1	2,1	2,0	1,9
Otras renovables	0,9	1,0	1,0	0,9
Cogeneración	5,2	5,1	5,0	4,7
Residuos no renovables	0,4	0,4	0,4	0,4
Residuos renovables	0,1	0,1	0,2	0,1
Potencia total	100	100	100	100

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS DE REDATA, 2022

La figura 13 muestra la relación de potencia instalada y generación de todas las tecnologías en España. Las energías renovables en general tienen una mayor potencia instalada que generación, en parte debido a su intermitencia. En cambio las energías como el carbón, gas o nuclear no tienen esta diferencia porque son más estables.

FIGURA 13. PRODUCCIÓN Y POTENCIA SEGÚN FUENTES 2022



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE FORO NUCLEAR Y REE

CAPÍTULO 6. TRANSICIÓN ENERGÉTICA

La transición energética es un proceso mediante el cual se busca cambiar la forma en que se produce y consume energía, con el objetivo de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y promover el uso de fuentes de energía más limpias y renovables. Este proceso es impulsado por la necesidad de abordar los desafíos relacionados con el cambio climático, la escasez de recursos naturales y la contaminación ambiental.

La transición energética implica una serie de cambios en diferentes ámbitos, como la generación de energía, el transporte, la industria y los sistemas de calefacción y refrigeración. Algunas de las características clave de esta transición según la Agencia Internacional de Energía (IEA) son:

- Energías renovables: Se fomenta el uso de fuentes de energía renovable, como la solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa y geotérmica. Estas fuentes son consideradas más sostenibles y tienen menor impacto ambiental que los combustibles fósiles.
- Eficiencia energética: Se promueve el uso eficiente de la energía a través de medidas como la mejora de la eficiencia en los procesos industriales, la implementación de tecnologías más eficientes y el fomento de prácticas de consumo responsable.
- Electrificación: Se busca electrificar sectores que tradicionalmente han dependido de combustibles fósiles, como el transporte y la calefacción. Esto implica la adopción de vehículos eléctricos, sistemas de calefacción eléctrica y el desarrollo de infraestructuras de recarga.
- Almacenamiento de energía: Se trabaja en el desarrollo de tecnologías y sistemas de almacenamiento de energía que permitan aprovechar de manera eficiente la energía generada a partir de fuentes intermitentes, como la solar y la eólica.
- Investigación y desarrollo: Se invierte en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones energéticas que permitan acelerar la transición hacia un sistema energético más sostenible.

La Unión Europea diseñó la taxonomía verde para identificar y clasificar las inversiones que pudieran ayudar a reducir las emisiones de dióxido de carbono de una forma sostenible, es decir, respetuosa con el medio ambiente y con la salud de las personas. La Comisión Europea solicitó en 2021 a su servicio de asesoramiento científico y tecnológico, el Joint Research Center (JRC), que evaluara si la energía nuclear cumplía con los objetivos de la taxonomía verde europea.

En marzo de 2021, el JRC publicó un informe titulado Evaluación técnica de la energía nuclear con respecto a los criterios de "no causar daños significativos" del Reglamento (UE) 2020/852 ("Reglamento de taxonomía"). El documento concluye que

“los análisis de los impactos de la energía nuclear no revelaron ninguna evidencia científica de que la energía nuclear produzca más daño a la salud de los seres humanos o al medio ambiente que las otras energías ya incluidas en la taxonomía para mitigar el cambio climático”. El estudio se basa en 14 categorías de impactos producidos por la energía nuclear comparada con los combustibles fósiles y las energías renovables, utilizando para ello los datos de varios estudios revisados por pares. Algunos de los impactos comparados son la destrucción de la capa de ozono, la acidificación del agua, la toxicidad acuática y terrestre, el agotamiento de recursos, el uso del terreno, el uso del agua y la radiación que afecte a ecosistemas y personas. El análisis muestra que los datos de la energía nuclear son comparables con las energías renovables.

Bajo la solicitud de la Unión Europea, el Gobierno de España envió a la Comisión Europea su Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), donde se ha fijado como objetivos reducir un 23% las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a los niveles de 1990, abastecer el 42% del consumo final de energía del país con fuentes renovables y mejorar un 39,6% la eficiencia energética. Estamos ante el reto de transformar el sistema energético. Las estrategias a favor de las energías renovables se han repetido en la mayoría de los países para combatir el calentamiento global y, algunas han apostado por la energía nuclear porque esta tecnología puede ser un aliado para conseguir una alta penetración de energías limpias intermitentes y luchar contra el cambio climático.

La transición energética es un cambio total, no sólo implica desafíos tecnológicos, sino que requiere de acciones concretas, acciones de ámbito global como local, aspectos de beneficio económico en las poblaciones, desafíos, cambios en la demanda de energía, la electrificación de la demanda, la búsqueda de las fuentes de energías renovables en todos los rincones, el financiamiento del proceso, la internacionalización del cambio, la adecuación del sistema productivo, los cambios en las formas de vida que hacen a aspectos que van desde la gestión de los residuos a los cambios en la movilidad. Todo esto requiere de planes, medidas, iniciativas y acciones hacia un nuevo modelo social y económico. Cuando hablamos de electrificar la demanda nos referimos a un cambio en todas las formas de consumo de energía. Así, cuando pensamos en transición energética, pensamos en la electrificación de todo lo que usamos, pero con fuentes renovables, lo que implica recurrir a la energía eólica, la solar fotovoltaica, la energía termo solar, la hidroeléctrica, la biomasa, la bioenergía y la energía geotérmica. La clave para lograrlo es apostar siempre por la investigación, innovación y desarrollo. Todo ello sujeto a la financiación, que solamente llegará en caso

de que exista seguridad a largo plazo para inversores. Esta seguridad se puede traducir en fuentes de recursos, incentivos fiscales, financiación pública garantías incentivos financieros...

El principal desafío al que se enfrenta tanto España como en todo el mundo es el aumento de la electrificación. Se está electrificando el transporte y parte de la industria, lo cual va a requerir optimizar todo lo que gastamos y asegurar un suministro. Aumentar la producción renovable es una medida útil para lograr la transición energética, pero como se trata de un proceso largo, contar con otra fuente de energía estable y poco contaminante que cubra las faltas de éstas en momentos de necesidad.

CAPÍTULO 7. COMPARATIVA ENERGÍA NUCLEAR Y ENERGÍA EÓLICA

7.1 ANÁLISIS DAFO ENERGÍA NUCLEAR

Un análisis DAFO es una herramienta de planificación que se utiliza para evaluar la situación actual de una empresa, sector o proyecto determinado. “DAFO” es un acrónimo en español de “Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades”. Su objetivo es identificar las principales fortalezas y debilidades internas, así como las oportunidades y amenazas que enfrenta en el entorno o mercado que se encuentra.

Para realizarlo es necesario conocer la situación del sector, su capacidad de innovación, sus costes, y su posicionamiento. También se debe tener en cuenta el entorno en el que se desenvuelve la empresa, como la competencia, el cambio tecnológico, la regulación gubernamental, la opinión pública, entre otros factores. Los cuatro aspectos claves son los siguientes:

- **Debilidades:** son factores internos que limitan la capacidad de desarrollo de la empresa o sector determinado.
- **Amenazas:** Son factores externos que pueden afectar negativamente a la empresa o proyecto. Por ejemplo, una amenaza podría ser la entrada de un competidor fuerte en el mercado o un cambio en las regulaciones gubernamentales.
- **Fortalezas:** Son los aspectos internos de la empresa o proyecto que le dan una ventaja sobre sus competidores

- Oportunidades: son factores externos que le pueden beneficiar, como por ejemplo el desarrollo de nuevas tecnologías o el crecimiento de mercado.

FIGURA 14 ESQUEMA DEL ANÁLISIS DAFO

MATRIZ DAFO		
INTERNO	DEBILIDADES	FORTALEZAS
EXTERNO	AMENAZAS	OPORTUNIDADES

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

DEBILIDADES

- Los accidentes tienen consecuencias graves.
- Requiere localizaciones geológicamente estables para su instalación.
- Necesita personal muy cualificado para operar las plantas.
- Altos costes de capital inicial.
- Tiene gran cantidad de regulaciones de seguridad.
- Proyectos con rentabilidad a largo plazo.
- Costes de mantenimiento y operación medios.
- Tiene una imagen negativa en la sociedad.
- Tiene costes adicionales de almacenaje de residuos y desmantelamiento.

AMENAZAS

- Accidentes de gran magnitud y opinión pública negativa.
- Declive de la utilización de energía nuclear por parte de los estados en el corto/medio plazo.
- Aplicación de normativas nuevas que limiten el uso de energía nuclear.
- Aplicación de normativas que encarezcan el valor del kWh.
- Competencia con otras fuentes de energía, como la solar o eólica.

FORTALEZAS

- Tecnología de baja emisión de gases de efecto invernadero.
- Gran capacidad de generación energética por parte del combustible.
- No requiere de grandes espacios de las instalaciones.
- El valor del combustible es estable y de un coste medio. 38 € por tonelada.
- Plantas generadoras de gran potencia.
- Larga vida útil de las plantas.
- Tecnología en constante desarrollo.
- Variedad de usos (generación de electricidad, usos médicos, agricultura, arte)
- Grandes reservas de materia prima fisionable.
- Posibilidad de reprocesar el combustible en cierto tipo de reactores, reduciendo el coste de kWh.

OPORTUNIDADES

- Aumento de los precios de los combustibles fósiles.
- Posibilidad de extensión de la vida útil de un gran número de plantas nucleares.
- La construcción de una central pueden generar empleo y beneficios económicos para la zona.
- Puede ser una base para complementar a las energías renovables en la transición económica.
- Reducción de costes al aplicar métodos de reciclado de combustible de las centrales que se reutilizan en las mismas plantas.
- Reduce las importaciones energéticas.
- En Europa se empieza a catalogar como energía “verde”.

7.2 ANÁLISIS DAFO ENERGÍA EÓLICA

DEBILIDADES

- No realiza una generación continua de energía (velocidad del viento variable).
- Depende de un elemento con grandes variaciones.
- Las zonas de utilización son limitadas.
- Aún requiere un alto coste en comparación con otras tecnologías.
- Vida útil baja (20-25 años).
- Necesidad de grandes terrenos para su instalación.
- Genera impacto medioambiental (ruido y daño a especies de la zona).
- Es una tecnología en actual desarrollo.

AMENAZAS

- Gran poder de industrias de combustibles fósiles.
- Costes menores de otras fuentes de energía, tanto fósiles como renovables.
- Cambios en las normativas que encarezcan la generación.
- Rechazo por parte de las poblaciones cercanas a un parque eólico.

FORTALEZAS

- Tecnología de baja emisión de gases de efecto invernadero.
- Energía que se renueva y es inagotable.
- Gran aceptación social de este tipo de fuente de energía.
- No se registran graves accidentes relacionados con esta tecnología.
- Reduce el uso de combustibles fósiles.
- Buena eficiencia de conversión.
- El mantenimiento es simple, ocasional y barato.
- Capacidad de almacenamiento.
- Genera empleo e ingresos a los municipios.

OPORTUNIDADES

- Reduce las importaciones energéticas.
- Aumento de las regulaciones ambientales.
- Gran potencial de desarrollo a nivel mundial.
- Aumento de capacidad de los generadores.

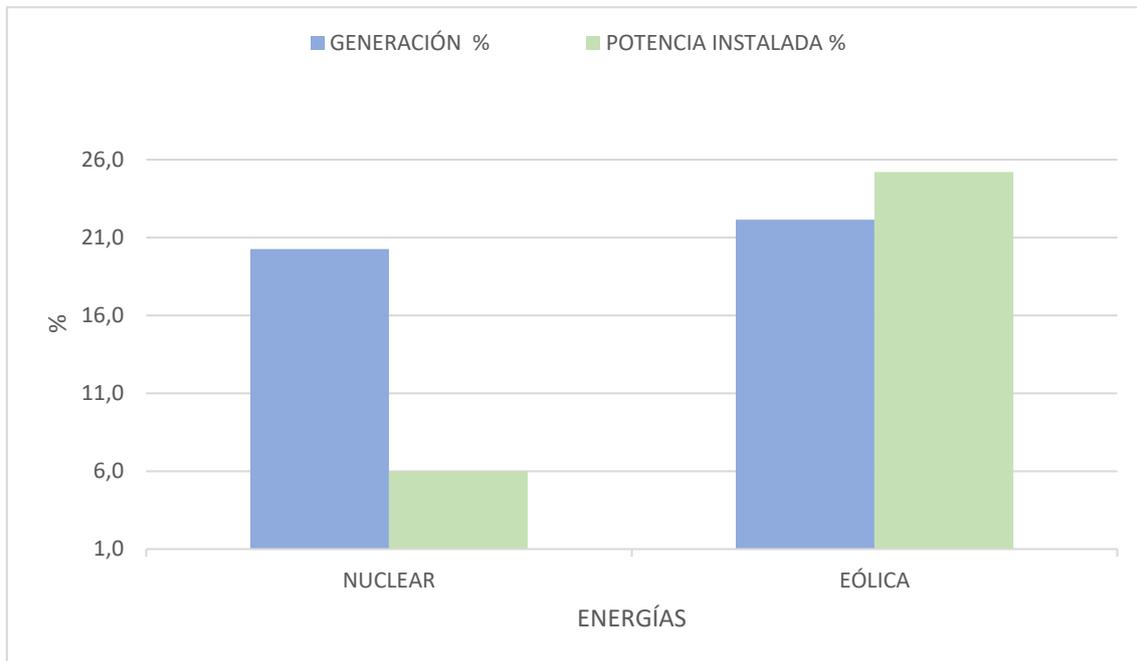
7.3 IMPACTO ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL DE AMBAS

La comparativa macroeconómica entre la energía nuclear y la energía eólica en España implica evaluar varios aspectos relacionados con el impacto económico, impacto medioambiental, generación de residuos, contribución al empleo, etc. de ambas fuentes de energía en el país. A continuación, se presentan algunos aspectos clave para comparar estos dos tipos de energía en España.

7.3.1 GENERACIÓN ELÉCTRICA Y POTENCIA INSTALADA.

En la figura 15 se muestra la potencia instalada y la generación de la energía nuclear y la eólica, para poder comparar ambos datos. Las dos energías generan una cantidad de GWh muy similar, sin embargo, la potencia instalada es mucho mayor en la energía eólica que en la nuclear. Según los datos publicado por Red Eléctrica Española la energía eólica ha generado en el año 2022, 61.194 GW con una potencia instalada de 30.069 MW y la energía nuclear ha generado 55.984 GW con una potencia instalada de 7.117 MW. Es decir, el número de horas efectivas de trabajo de la energía eólica fue de 2,035 horas/año y de la energía eólica de 7,866 horas/año, siendo esta la energía total que transfiere a la red y que nosotros consumimos. En el caso de la energía eólica ocurre porque al ser una fuente renovable intermitente, depende de factores externos que hacen que dependiendo de las condiciones climatológicas sea capaz de generar más o menos energía. En cambio, en la energía nuclear, su generación es bastante superior a la potencia ya que su funcionamiento es constante y no depende de factores externos.

FIGURA 15. GENERACIÓN Y POTENCIA INSTALADA % NUCLEAR Y EÓLICA 2022



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE REData

7.3.2 IMPULSO ECONÓMICO PARA EL PAÍS

Los costes son difíciles de evaluar, en función de la fuente que se analice y el dato que se quiera mostrar varía el dato. La energía nuclear requiere una inversión inicial considerable debido al alto coste de construcción de plantas nucleares y la infraestructura relacionada. En España, la construcción de plantas nucleares ha representado una parte significativa de la inversión en el sector energético en el pasado. Por otro lado, los parques eólicos también requieren una inversión inicial significativa, pero los costos de instalación han disminuido en los últimos años debido a la madurez de la tecnología y las economías de escala.

La nuclear representa el 0.3% del PIB español, según el informe PwC sobre el impacto socioeconómico de la industria nuclear en España, (2015). La industria nuclear invierte un 2% de sus ingresos en I+D.

El costo de instalación de un parque eólico en España puede variar significativamente según diversos factores, como el tamaño del parque, la ubicación, la

tecnología utilizada y las condiciones específicas del proyecto. Sin embargo, puedo proporcionarte una estimación aproximada.

En general, se estima que el costo de instalación de un parque eólico terrestre en España puede oscilar entre 1,2 y 2,5 millones de euros por megavatio (MW) de capacidad instalada. Esto significa que un parque eólico de 50 MW tendría un costo de instalación de aproximadamente 60 a 125 millones de euros.

Cabe destacar que estas cifras son solo estimaciones y pueden variar dependiendo de las circunstancias individuales de cada proyecto. Además, los costos de instalación pueden incluir no solo los aerogeneradores, sino también los gastos asociados, como el desarrollo del sitio, el acceso a la red eléctrica, los estudios de impacto ambiental, las infraestructuras auxiliares y los costos de conexión.

La eólica representa el 0.30% del PIB español y exporta tecnología por un valor de 1.748,6 millones de euros al año. Según la Asociación Empresarial Eólica (AEE), el sector eólico tiene una potente cadena de valor que ha llevado a España a ser el tercer exportador de aerogeneradores el mundo.

7.3.3 VIDA DE DISEÑO Y VIDA ÚTIL

La vida útil es el tiempo durante el cual una instalación (en este caso nuclear y eólica) puede funcionar de forma segura y económicamente viable.

Según Alfredo García (2020), divulgador español de ciencia y tecnología nuclear, en el caso de la energía nuclear se suele estimar en alrededor de 40 a 60 años. Sin embargo, esto puede depender de varios factores, incluyendo el tipo de reactor utilizado, el mantenimiento adecuado, las actualizaciones tecnológicas y los requisitos regulatorios. Algunas centrales nucleares han sido capaces de operar durante más de 40 años con extensiones de licencia otorgadas por las autoridades regulatorias. En Estados Unidos, el país de referencia mundial en seguridad nuclear y el referente normativo, el 90% de los reactores nucleares tienen permiso para operar durante sesenta años y varios también han conseguido permiso para ochenta años (igual que cuando alguien sigue trabajando pasada la edad de la jubilación porque está todavía en forma y con ganas). También otros países como Francia, Bélgica, Holanda, Canadá, Rusia, Suiza, Suecia, Finlandia y Reino Unido disponen de centrales nucleares con permisos de operación aprobados más allá de los cuarenta años. Según la OIEA, en

2018 existían 449 reactores nucleares operables en el mundo y 91 de ellos tenían más de cuarenta años.

En una instalación de energía eólica la vida útil suele estar en el rango de 20 a 25 años. Esto se debe principalmente al desgaste mecánico de los componentes, la exposición a condiciones ambientales adversas y el avance de la tecnología. Después de ese período, es posible que se requieran inversiones significativas en el mantenimiento y la modernización de los aerogeneradores para mantener su eficiencia y confiabilidad. La probabilidad de que se produzcan daños relevantes debido a la fatiga del material aumenta considerablemente cuando un aerogenerador llega al final de la vida útil para la que ha sido diseñado. Sin embargo, esto no significa necesariamente que haya que renunciar a su operación y desmantelarlo. En la práctica, muchos aerogeneradores aún tienen reservas después de los 20 años habituales de vida útil para los que se han diseñado y pueden seguir utilizándose. La identificación de estas reservas puede ayudar a los propietarios y operadores de parques eólicos a descubrir el potencial adicional para la generación de energía más allá de este período de 20 años.

Una vez que la extensión de la vida útil de un aerogenerador se ha identificado como una opción interesante, es necesario considerar diversos aspectos. La certificación tipo se utiliza para verificar y evaluar la seguridad fundamental con respecto a la vida útil de diseño del modelo del aerogenerador. Este y otros factores deben tener en cuenta los requisitos de operación y mantenimiento y las condiciones climatológicas y de viento adecuadas en el emplazamiento elegido. Cuando la vida útil prevista llega a su fin, debe prepararse un análisis pericial para la continuación del funcionamiento a fin de identificar y confirmar las reservas restantes para la extensión de la vida del aerogenerador.

7.3.4 IMPACTO AMBIENTAL

La energía nuclear en España no emite gases de efecto invernadero durante la generación de electricidad, pero plantea desafíos relacionados con la gestión de residuos nucleares y la seguridad. Por otro lado, la energía eólica en España es una fuente de energía limpia y renovable que no emite emisiones de gases de efecto invernadero durante la generación de electricidad. Sin embargo, puede tener impactos ambientales locales, como la alteración del paisaje y el impacto en la fauna aviar.

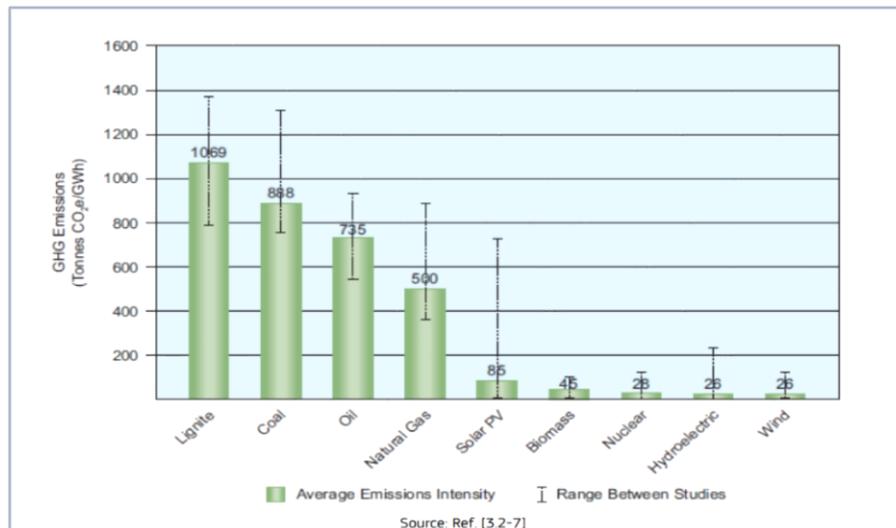
En primer lugar se va a analizar la decisión de La Comisión Europea en febrero de 2022 sobre clasificar a la energía nuclear como energía verde, de tal forma que sea equiparable a las energías renovables en los programas de finanzas sostenibles, decisión que ha generado mucha controversia.

Se puede definir la energía verde como aquella que tiene un escaso impacto medioambiental. La definición que ha adoptado la Comisión Europea en su propuesta para etiquetar como verde a la energía nuclear es aquellas energías que pueden desarrollar un papel crucial a la hora de descarbonizar nuestras economías durante las próximas décadas y para las que no existe una sustitución tecnológica inmediata.

Lo siguiente es analizar el impacto que tiene la energía nuclear sobre las emisiones de CO₂ y en el impacto que tiene la energía nuclear sobre el medio ambiente.

El siguiente gráfico indica la cantidad de CO₂ que emite la energía nuclear por cada GWh producido a lo largo de toda la vida útil de una central. Este gráfico y los siguientes están extraídos del informe técnico que posee la Comisión Europea ¹⁰ sobre el impacto ecológico que tiene la energía nuclear.

FIGURA 16. CICLO DE VIDA DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO INTENSIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD



66FUENTE: INFORME TÉCNICO DE LA COMISIÓN EUROPEA. 2021

¹⁰ “Technical assessment of nuclear energy with respect to the ‘do no significant harm’ criteria of Regulation (EU) 2020/852 (‘Taxonomy Regulation’)

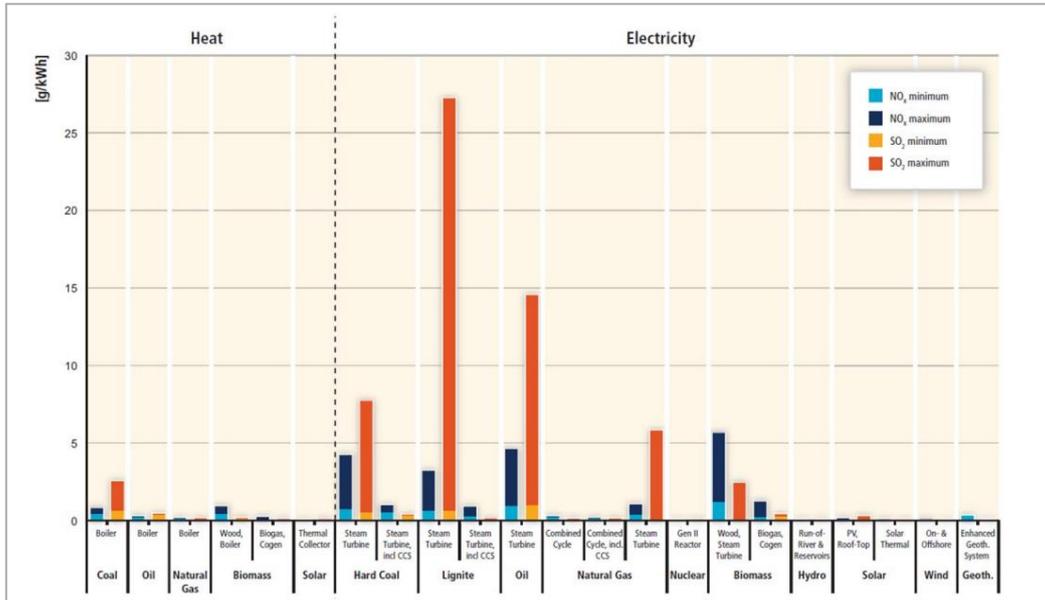
La energía que más CO₂ genera por cada GWh es el lignito¹¹, (1069 toneladas de CO₂ o equivalentes por GWh), seguido del carbón (888 toneladas CO₂e/GWh), el petróleo (735 toneladas CO₂e/GWh) y el gas natural (500 toneladas CO₂e/GWh). Este dato es relevante porque muchos gobiernos entre los que se encuentra el de España, está siguiendo la estrategia de utilizar el gas natural como tecnología eléctrica complementaria para las fuentes de energía renovables, ya que cuando las renovables no están generando, echa mano del gas natural para generar electricidad de manera suplementaria.

Los demás datos muestran emisiones bajas de CO₂ por cada GWh, son el caso de la energía solar (85 toneladas CO₂e/GWh), la eólica hidroeléctrica (26 toneladas CO₂e/GWh), la eólica (26 toneladas CO₂e/GWh) y la nuclear (28 toneladas CO₂e/GWh). Es decir, la nuclear es de las energías que menos CO₂ emite a lo largo de todo el ciclo de vida de la central. Desde el punto de vista de emisiones, se podría considerar como energía verde. La energía eólica y la nuclear están muy equiparadas en emisiones de CO₂, lo que hace que ambas sean muy atractivas desde este punto de análisis.

El gráfico 8, muestra las emisiones de sulfuro y de dióxido de nitrógeno que pueden generar lluvia ácida. Se muestran cuantos gramos por KWh de electricidad generan diversas tecnologías. Las tecnologías más dañinas son los combustibles fósiles (el carbón, el petróleo y el gas natural) y en cambio los reactores nucleares (de tercera generación en este caso) no emiten nada a lo largo de su ciclo de vida. La energía eólica tampoco genera ninguna emisión de sulfuro y nitrógeno.

¹¹ Lignito: tipo de carbón muy abundante de color negro que se emplea como combustible en centrales térmicas principalmente.

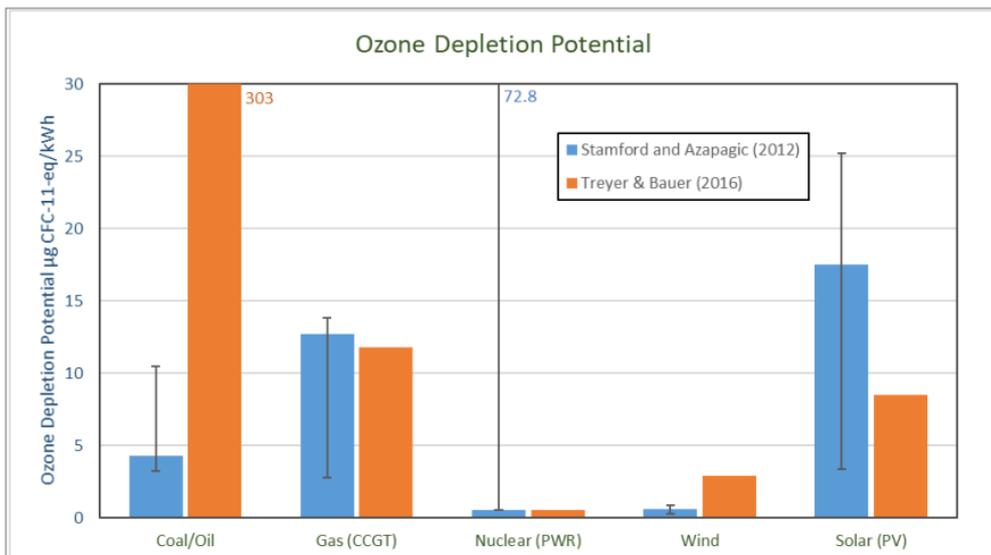
FIGURA 17. EMISIONES ACUMULADAS DURANTE EL CICLO DE VIDA DE NO_x Y SO₂ POR UNIDAD DE ENERGÍA GENERADA POR DIFERENTES TECNOLOGÍAS



FUENTE: INFORME TÉCNICO DE LA COMISIÓN EUROPEA. 2021

También con respecto al impacto medioambiental, la energía nuclear es la que tiene un menor potencial de dañar la capa de ozono, seguida de la energía eólica, que también muestra cifras muy bajas.

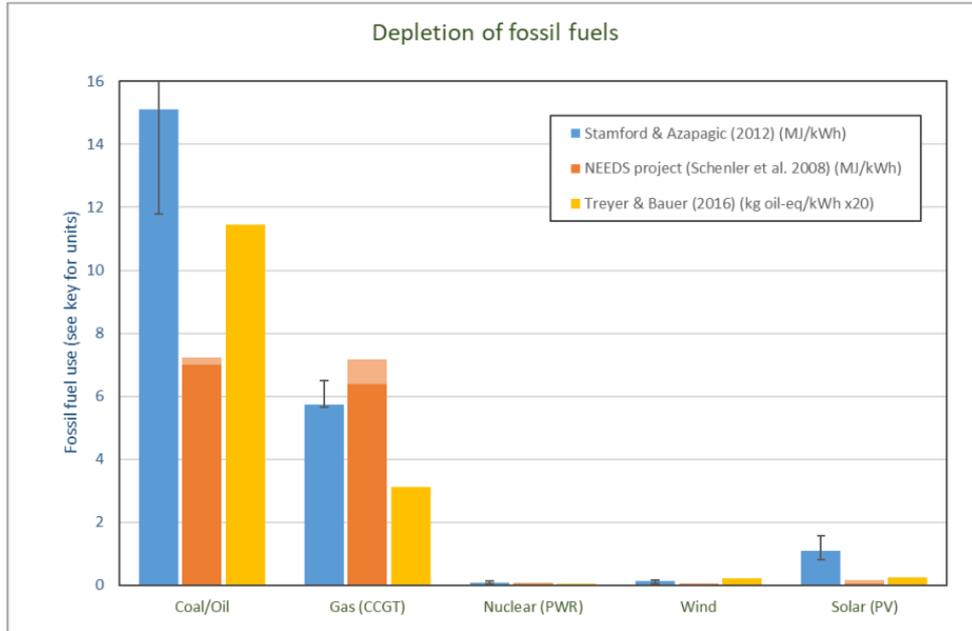
FIGURA 18. POTENCIAL DE AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO



FUENTE: INFORME TÉCNICO DE LA COMISIÓN EUROPEA. 2021

El consumo de la energía nuclear y la energía eólica al agotamiento de los combustibles fósiles es prácticamente nula, porque prácticamente no se utilizan en todo el ciclo de vida de dichas energías. Algo muy lejos de las centrales de carbón, de petróleo y de gas natural porque consumen combustibles fósiles de manera intensiva.

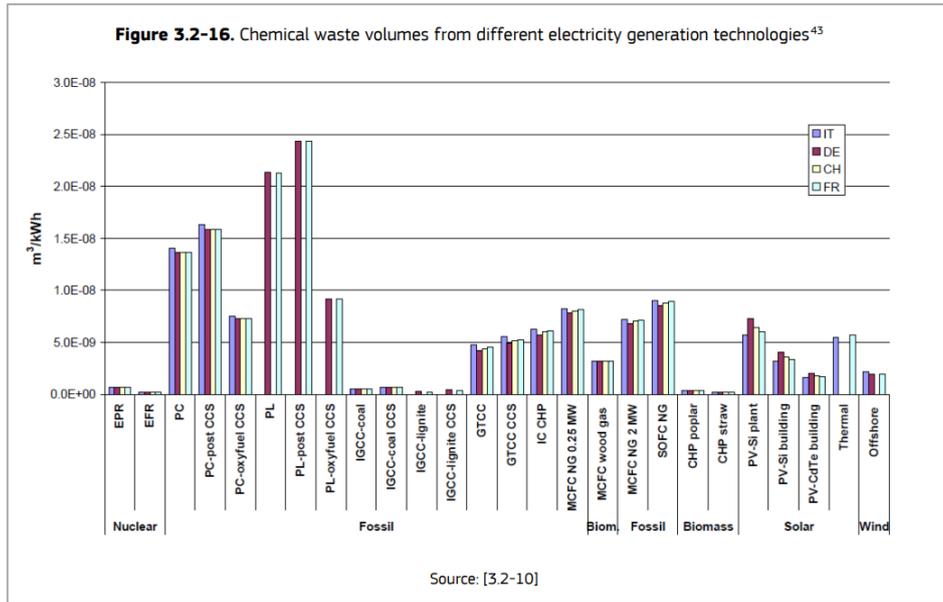
FIGURA 19. AGOTAMIENTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES



FUENTE: INFORME TÉCNICO DE LA COMISIÓN EUROPEA. 2021

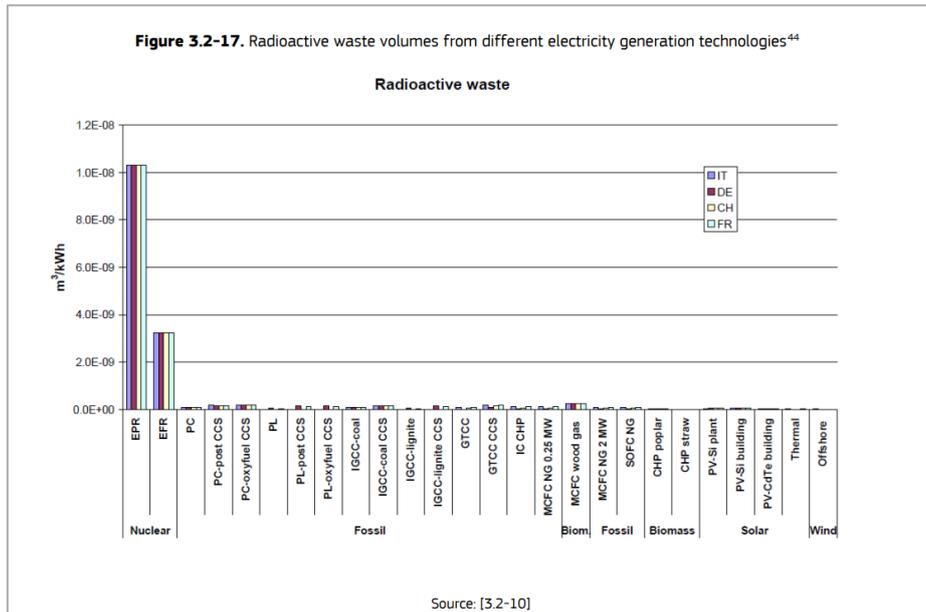
Las centrales nucleares también son las centrales que generan una menor cantidad de desechos químicos (figura 18), comparadas con casi todas las formas de producción de energía. La energía eólica genera algo más de desechos químicos pero se encuentra entre las tres que menos genera. Por otro lado, es la fuente que genera mayor cantidad de desechos radiactivos en comparación con todas las otras energías. En este aspecto la energía eólica destaca al no generar nada de desechos radioactivos. Peor existe una posibilidad cada vez más cercana que consiste en el reciclaje del combustible nuclear utilizado a través de las centrales de cuarta generación, que permitiría dar salida a este combustible radioactivo. (World Nuclear Association, diciembre 2020).

FIGURA 20. VOLUMEN DE DESECHOS QUÍMICOS POR DIFERENTES TECNOLOGÍAS



FUENTE: INFORME TÉCNICO DE LA COMISIÓN EUROPEA. 2021

FIGURA 21. VOLUMEN DE DESECHOS RADIOACTIVOS POR DIFERENTES TECNOLOGÍAS

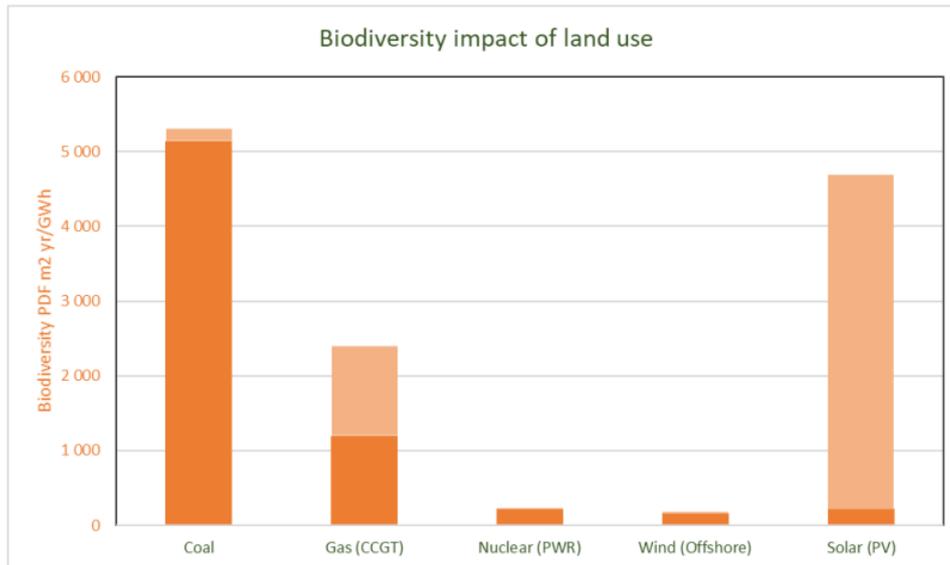


FUENTE: INFORME TÉCNICO DE LA COMISIÓN EUROPEA. 2021

Por último, la gráfica 21 muestra el impacto de las fuentes sobre la vida en el planeta. Por un lado si nos fijamos en el impacto negativo que el uso de la tierra por parte de las

centrales tiene sobre la biodiversidad, es mínimo, porque utiliza muy poca tierra para generar electricidad. Es un impacto tan bajo como el de la eólica.

FIGURA 22. IMPACTO DEL USO DEL SUELO EN LA BIODIVERSIDAD



FUENTE: INFORME TÉCNICO DE LA COMISIÓN EUROPEA. 2021

Se puede concluir con esta información que la energía nuclear no tiene un impacto significativamente negativo sobre el medio ambiente, es decir, según el informe de la Comisión Europea, se puede considerar una energía verde. También la energía eólica es una energía verde, algo que las equipara en este aspecto de análisis.

Otra cuestión es si el único criterio para decidir adoptar una fuente de energía u otra deba ser el impacto ecológico, ya que también hay que considerar el impacto económico, si son baratas o son caras de las diferentes fuentes de energía. Clasificar la energía nuclear como energía verde, no soluciona el debate sobre la conveniencia o inconveniencia de incrementar el peso de la nuclear dentro de nuestro mix energético. Sigue habiendo argumentos a favor y argumentos en contra que deben ser analizados para decidir si apostar por ellas o no.

7.3.5 GENERACIÓN DE RESIDUOS

La gestión de los residuos radiactivos en España, incluido el combustible gastado, se categoriza como un servicio público que se encomienda a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (Enresa).

La generación de residuos de las centrales nucleares se divide en tres categorías principales: combustible usado, residuos de alta actividad y residuos de baja y media actividad. El combustible gastado es el residuo más importante y radiactivo producido en las centrales nucleares. Consiste en los elementos combustibles utilizados en el reactor nuclear, que se vuelven menos eficientes a medida que se utilizan. El combustible gastado se almacena inicialmente en las piscinas de almacenamiento en las propias instalaciones de las centrales nucleares durante varios años. Luego, se traslada a los almacenes de almacenamiento en seco, donde se mantiene en contenedores especiales diseñados para este propósito. Los residuos de alta, media y baja actividad requieren medidas de control y gestión adecuadas ya que pueden contener niveles de radiación.

La generación de residuos en los parques eólicos de España es significativamente menor en comparación con las centrales nucleares u otras fuentes de energía convencionales. Sin embargo, existen algunos residuos asociados a la construcción, operación y desmantelamiento de los parques eólicos. Los primeros se refieren a residuos como hormigón, acero plásticos madera y otros materiales utilizados en los cimientos de los aerogeneradores. Suelen ser gestionados a través de reciclaje en vertederos autorizados. Los residuos de operación se refieren a filtros de aire, piezas de repuesto, aceites usados y herramientas desechadas. También se gestionan con políticas de residuos peligrosos y se reciclan. En tercer lugar, los residuos de desmantelamiento, son componentes metálicos, palas de turbinas, cables y otros materiales. La gestión de estos debe cumplir con las regulaciones ambientales y requisitos de reciclaje establecidos por las autoridades.

En los últimos años, el sector eólico ha tenido un alto nivel de crecimiento en cuanto a instalaciones de nueva energía. En España, la vida útil de la primera generación de aerogeneradores está terminando. A cierre de 2020, en España había 1.203 parques eólicos en más de 800 municipios, con 20.940 aerogeneradores y 62.820 palas instalados (AEE, 2020). De los 20.940 aerogeneradores que están instalados en España, un 36% (unos 7.500) se instalaron antes de 2005 y, por lo tanto, tienen 15 años

o más (AEE, 2006). Considerando que la vida de diseño de un parque eólico y sus componentes es de 20 años, esto supone que más de 20.000 palas serán desinstaladas en los próximos años, aunque sólo las más deterioradas sean desechadas al final de su vida de diseño, ya que la tendencia natural es la extensión de vida de los parques eólicos.

En los próximos años, muchos parques eólicos deberán elegir entre extender su vida útil o sustituir los aerogeneradores por nuevos más modernos. Si se desinstalan los ya existentes, hay que hacer frente a los residuos que generan. Según la Asociación Empresarial Eólica (AEE), 2021, actualmente es viable reciclar o reutilizar hasta el 83% de los materiales de un aerogenerador (acero, cobre y aluminio), y constituye una práctica habitual el aprovechamiento de muchos sus componentes como piezas de repuesto, como puede ser el caso de la torre, la multiplicadora y la góndola. La pala es lo más complejo, al estar hechas de fibras de vidrio o carbono, especialmente difíciles y caros de separar para un reciclaje correcto. Entre 2021 y 2025 la AEE prevé que se desmantelarán 145.475 toneladas de palas de aerogeneradores, lo que supone 97.468 toneladas de materiales compuestos.

7.3.6 GENERACIÓN DE EMPLEO

Ambas fuentes de energía tienen el potencial de generar empleo. La energía nuclear requiere mano de obra altamente especializada y puede generar empleos en la construcción, operación y mantenimiento de plantas nucleares. Por su parte, la energía eólica también genera empleo en la fabricación, instalación y mantenimiento de turbinas eólicas, así como en la gestión de parques eólicos. En los últimos años, el sector eólico ha experimentado un crecimiento significativo en términos de empleo en España.

En España las cifras de empleo en la energía nuclear en 2021, según Foro Nuclear, son de unos 27.000 puestos de empleos directos e indirectos, de los cuales 8.500 son directos. Este empleo se localiza principalmente en zonas con alto riesgo de despoblación, y sus efectos son evidentes, fijando la población, dinamizando la economía y aportando cohesión en lugares con pocas alternativas de progreso. Además genera estabilidad a largo plazo, ya que la vida útil de una instalación nuclear es en torno a 40 / 70 años. El empleo es cualificado y bien remunerado.

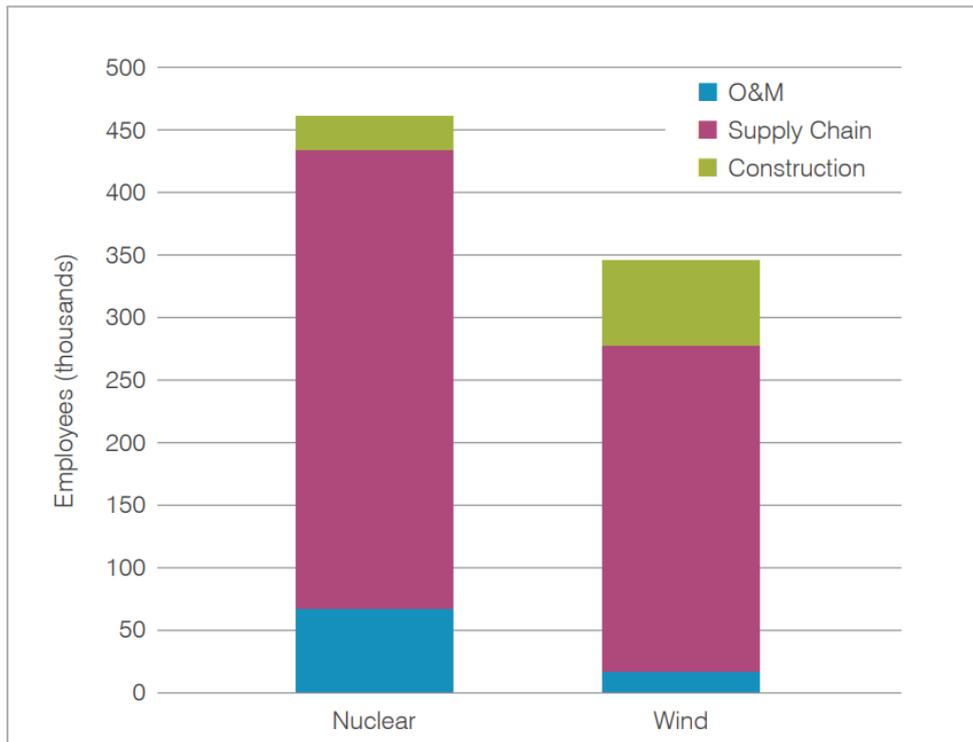
En el caso de la energía eólica, según datos de la Asociación Empresarial eólica (AEE), genera más de 30.000 puestos y se pretende que alcance más de 67.000 empleos en 2030. Los puestos de trabajo son de calidad y estables (70% de los 30.000). Además, tiene un fuerte entramado industrial con empresas pioneras y líderes mundiales. Hay que destacar el papel de la energía eólica marina, en desarrollo en España, se estima que la demanda de personal se triplicará a finales de esta década a nivel mundial, lo que hará aumentar el número en España también.

En ambos casos, el empleo se localiza principalmente en zonas con alto riesgo de despoblación lo que consigue fijar población, dinamizando la economía y aumentando la productividad de zonas rurales.

La figura 23 muestra el empleo directo e indirecto de ambas energías de un estudio realizado por World Nuclear Association en 2020, sobre el empleo en los sectores de la energía eólica y nuclear. El estudio se basa en estimaciones de datos anuales de EE.UU. y Francia, donde se observa que un parque nuclear de 100GW emplea entre personal de construcción, cadena de suministro y operaciones y mantenimiento a más personal que un parque eólico con la misma capacidad de generación (100GW). Basándose en estos datos, el empleo directo e indirecto en un parque nuclear que genera 100GW al año es de 462.000, mientras que en un parque eólico es de 346.000.¹²

¹² Señalar que las estimaciones derivadas del estudio no tienen en cuenta ningún otro coste de los parques, solamente es en datos de empleo.

FIGURA 23. EMPLEO DIRECTO E INDIRECTO EN ENERGÍA NUCLEAR Y EÓLICA PARA GENERAR 100GW. ANUALMENTE EN ESTADO ESTACIONARIO



FUENTE: Employment in the Nuclear and Wind Electricity Generating Sectors, WORLD NUCLEAR ASSOCIATION 2020

CAPÍTULO 8. EJEMPLO CENTRAL MUNICIPIO COFRENTES, VALENCIA

Como ejemplo en España, se analiza el caso del municipio de Cofrentes, en la Comunidad Valenciana, donde gran parte de su actividad económica gira en torno a la central nuclear de Cofrentes. Esta central tiene una potencia eléctrica instalada de 1.092 megavatios (MW) y es propiedad al 100% de Iberdrola.

Según el *Informe del sistema eléctrico español 2022* de Red Eléctrica Española, durante 2022, el 66% de la producción eléctrica en la Comunidad Valenciana procedió de tecnologías que no emiten CO2 equivalente (gases de efecto invernadero). La nuclear fue un año más, la principal fuente de generación, representando el 43,9% del total, el ciclo combinado alcanzó una cuota del 24,7%

del total autonómico. Le siguieron la eólica, con el 10,5% del mix, la cogeneración (que supuso un 5,9% del total) y la solar fotovoltaica con un 8,8%.

Durante 2022, la producción de energía eléctrica bruta de la central nuclear de Cofrentes fue de 8.649,61 GWh. La central acumula más de diez años y medio sin paradas automáticas del reactor.

Según el informe mensual de noviembre y diciembre 2022 de la central de Cofrentes¹³, su producción eléctrica bruta en ambos meses ha sido de 787 y 820 millones de kWh, respectivamente. Al final del ejercicio de 2022, la central nuclear de Cofrentes ha producido 8.649 millones de kWh, cifra que supone alrededor del 3,1% de la generación total en España (según datos provisionales de REE). En cuanto a sus emisiones sobre un límite legal de 1 mSv¹⁴ las emisiones debidas a gases y líquidos correspondientes a los últimos 12 meses se han situado en 0,0278%. Y en cuanto al empleo alrededor de 1.000 personas conforman anualmente la base de trabajadores en la central, formada por el personal propio de Iberdrola y el de empresas de alto valor tecnológico contratadas como apoyo a la operación.

El cierre de la central nuclear de Cofrentes en Valencia, previsto para 2030 tendría una serie de implicaciones tanto a nivel local como a nivel más amplio. A continuación, se analizan algunas de las posibles consecuencias:

- Suministro de energía: La central nuclear de Cofrentes es una fuente importante de generación de electricidad en la región. Su cierre significaría una reducción significativa en la capacidad de generación de electricidad, lo que podría requerir la implementación de fuentes de energía alternativas para cubrir la demanda energética. Esto podría implicar un mayor énfasis en el desarrollo de energías renovables, como la energía solar, eólica u otras fuentes no nucleares, así como una posible mayor dependencia de la importación de energía. Esto debe ser analizado para obtener información sobre la viabilidad de sustituir esta energía por renovables antes del 2030 para evitar falta de suministro.

¹³ Link informe completo: <https://www.cncofrentes.es/wp-content/uploads/2023/01/08.-Informe-mensual-noviembre-y-diciembre-2022.pdf>

¹⁴ El *sievert* es la unidad de equivalencia de dosis de radiación ionizante del Sistema Internacional de Unidades (SI), igual al julio por kilogramo (símbolo: Sv). Es una medida del efecto sobre la salud de bajos niveles de radiación ionizante en el cuerpo humano.

- Emisiones de carbono: La central nuclear de Cofrentes no emite apenas dióxido de carbono (CO₂) durante su operación, ya que la energía nuclear es una fuente de energía de baja emisión de carbono. El cierre de la central nuclear podría llevar a un aumento en las emisiones de carbono, especialmente si las fuentes de energía que la reemplacen son en su mayoría de origen fósil, como el gas natural o el carbón.
- Empleo y economía local: El cierre de la central nuclear podría tener un impacto significativo en la economía local. La central nuclear emplea a un número considerable de trabajadores directos e indirectos, y su cierre podría resultar en la pérdida de empleos y afectar la actividad económica en la región. Sería necesario implementar planes de transición y apoyo económico para los trabajadores y las comunidades afectadas.
- Gestión de residuos nucleares: El cierre de la central nuclear de Cofrentes implicaría la necesidad de abordar la gestión de los residuos nucleares generados por la planta. La central nuclear tiene un plan establecido para el manejo de los residuos radiactivos,¹⁵ pero su cierre requeriría una planificación adicional para garantizar una gestión segura y adecuada de los residuos a largo plazo.
- Seguridad y desmantelamiento: El cierre de una central nuclear requiere un proceso cuidadoso de desmantelamiento y desactivación de la planta. Esto implica desafíos técnicos, económicos y de seguridad, que deben ser abordados de manera planificada y segura.

En general, el cierre de la central nuclear de Cofrentes tendría implicaciones significativas en términos de suministro de energía, emisiones de carbono, empleo y economía local, gestión de residuos nucleares y seguridad. Por estos motivos, cabe destacar la importancia de planificar estrategias de transición adecuadas para garantizar una transición energética segura y sostenible, así como un plan de energía alternativa factible y equivalente.

¹⁵ <https://www.cofrentes.es/wp-content/uploads/2022/10/PLAN-LOCAL-GESTION-RESIDUOS.pdf>

CAPÍTULO 9. PERSPECTIVAS DE FUTURO, CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

Podemos observar en la Figura 16, como la capacidad instalada prevista para España según el Ministerio para la Transición Ecológica, en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), la energía eólica tiene un gran aumento en su previsión para 2030, (de 28.033 MW a 50.258MW), lo que supone un dato positivo para nuestro país. Sin embargo, la energía nuclear no tiene ninguna perspectiva de crecimiento, es más, se reduce considerablemente su potencia instalada para 2030 (de 7.399MW a 3.181MW), lo que se explica con el calendario de cierre de reactores en España. Vista la aportación que sería capaz de realizar la nuclear en nuestro país, una opción para garantizar el suministro y ser energéticamente independientes, podría venir de en vez de reducir su potencia instalada, tratar de mantenerla o incluso aumentarla, aunque ello suponga disponer de altas inversiones. Puede ser un buen complemento a las energías renovables actuales.

FIGURA 24. POTENCIA INSTALADA EN EL ESCENARIO OBJETIVO DEL PNIEC (PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA)

Parque de generación del Escenario Objetivo (MW)				
Año	2015	2020	2025	2030
Eólica	22925	27968	40258	50258
Solar fotovoltaica	4854	8409	23404	36882
Solar termoeléctrica	2300	2303	4803	7303
Hidráulica	14104	14109	14359	14609
Bombeo mixto	2687	2687	2687	2687
Bombeo puro	3337	3337	4212	6837
Biogás	223	235	235	235
Geotérmica	0	0	15	30
Energías del mar	0	0	25	50
Biomasa	677	877	1077	1677
Carbón	11311	10524	4532	1300
Ciclo combinado	27531	27146	27146	27146
Cogeneración carbón	44	44	0	0
Cogeneración gas	4055	4001	3373	3000
Cogeneración productos petrolíferos	585	570	400	230
Fuel-Gas	2790	2790	2441	2093
Cogeneración renovable	535	491	491	491
Cogeneración con residuos	30	28	28	24
Residuos sólidos urbanos	234	234	234	234
Nuclear	7399	7399	7399	3181
Total	105621	113151	137117	156965

FUENTE: MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA, 2019

El suministro suficiente de energía es un requisito indispensable para el crecimiento económico de un país. Además, la seguridad y la fiabilidad de este suministro energético son clave para el buen funcionamiento de las economías modernas y para la estabilidad del bienestar económico y social de los países.

Todo país avanzado necesita tener un suministro de electricidad las 24 horas del día y los siete días de la semana. Por lo que lo primero que hay que asegurar un suministro estable, seguido de una estrategia competitiva que nos permita prosperar y tratar de respetar el medio ambiente en la mayor medida posible. Tal como afirma Manuel Fernández Ordóñez (2023), una solución posible para España en el medio y largo plazo es una combinación que asegure el suministro, que puede ser un mix de nuclear o gas, junto a renovables.

Uno de los principales obstáculos para la creación de nuevos reactores nucleares en España es la inestabilidad política y la pérdida de seguridad jurídica en materia energética. Este ejemplo del CEO de la empresa Endesa sirve como ejemplo de la poca estabilidad jurídica en materia energética que ha habido en España.

El consejero delegado de Endesa, José Bogas (2022) ¹⁶ ha pedido durante su discurso ante la junta general de accionistas de la compañía *“estabilidad jurídica y regulatoria”, ante la “incertidumbre” vivida a lo largo del año pasado por la crisis en el sector energético a nivel mundial, con la finalidad de poder abordar las “enormes” inversiones que son necesarias para garantizar la transición y la independencia energética.* José Bogas ha considerado además durante su discurso que el ejercicio de 2022 estuvo marcado por los *“permanentes cambios regulatorios, la intervención del mercado eléctrico, la desinformación y la respuesta que ha dado el sector”*.

A este respecto, el directivo de la energética apuntó que durante el año el sector tuvo que gestionar unos 74 cambios regulatorios: 32 normas y 6 Reales Decretos que modificaban a su vez otras 42 normas anteriores. Todos estos cambios regulatorios, unidos a las 57 modificaciones regulatorias de 2021, hicieron *“sumar 131 cambios normativos en 24 meses”*.

“Estos cambios regulatorios mayoritariamente han buscado proteger a la ciudadanía y al tejido empresarial y han permitido que en España se contengan mejor

¹⁶ <https://elperiodicodelaenergia.com/bogas-endesa-pide-estabilidad-juridica-y-regulatoria-tras-la-incertidumbre-vivida-en-2022/>

los precios que en otros países de la Unión Europea, pero también han generado distorsiones en el mercado y tensiones operativas”, dijo.

El modelo energético actual de las economías desarrolladas está inmerso en una transición hacia un modelo que combine la seguridad de abastecimiento, la sostenibilidad medioambiental y la competitividad en costes. En este sentido todas las fuentes energéticas son necesarias, debiendo utilizar las mejores tecnologías disponibles que contribuyan a mejorar la competitividad. Intentar en la medida de lo posible que los combustibles fósiles genere cada vez menos electricidad, se quemen menos y por lo tanto tengamos menos emisiones, menos dependencia energética del exterior y menos contaminación atmosférica.

La energía nuclear ha demostrado ser una fuente de energía controvertida pero con el potencial de desempeñar un papel significativo en la transición energética. Aunque existen desafíos y preocupaciones asociadas, se reconoce que la energía nuclear puede aportar beneficios importantes en la reducción de las emisiones de carbono, la generación de electricidad baseload confiable y la diversificación de la matriz energética.

En términos de reducción de emisiones, la energía nuclear se destaca como una fuente de energía con una huella de carbono muy baja. Al generar electricidad sin emisiones de carbono, puede complementar las energías renovables intermitentes y ayudar a compensar su variabilidad. Esto resulta especialmente relevante en aquellos lugares donde la disponibilidad de recursos renovables es limitada.

La disponibilidad de la energía nuclear también es un aspecto destacado. Los reactores nucleares pueden proporcionar una fuente constante y estable de energía eléctrica, independientemente de las condiciones climáticas, lo que los convierte en una opción atractiva para satisfacer la demanda energética creciente y la necesidad de una energía confiable.

En cuanto a las perspectivas de futuro de la energía nuclear, es importante considerar los avances tecnológicos en la industria. Los reactores de nueva generación, como los reactores de alta temperatura, los reactores de fisión avanzada y los reactores de fusión, prometen mejoras en términos de seguridad, eficiencia y gestión de residuos. Estos avances pueden abordar algunas de las preocupaciones asociadas con la energía nuclear y aumentar su aceptación pública.

Además, la investigación y desarrollo en el campo de la energía nuclear continúa, y se espera que las tecnologías y procesos mejoren aún más en los próximos años. Esto incluye la exploración de soluciones más eficientes de gestión de residuos, así como el desarrollo de reactores modulares y flexibles que puedan adaptarse a diferentes necesidades y escenarios.

Sin embargo, es esencial abordar los desafíos existentes, como la gestión segura de los residuos radiactivos, la protección contra la proliferación nuclear y la garantía de altos estándares de seguridad. Además, la aceptación pública y la transparencia en la toma de decisiones son fundamentales para lograr un desarrollo y despliegue adecuados de la energía nuclear.

En resumen, la energía nuclear tiene el potencial de desempeñar un papel importante en la transición energética al ser una fuente de energía con bajas emisiones de carbono y capacidad baseload confiable. A medida que la tecnología avanza y se abordan los desafíos existentes, la energía nuclear puede contribuir de manera significativa a un sistema energético más sostenible en el futuro. Sin embargo, su integración debe llevarse a cabo de manera responsable, considerando los aspectos económicos, sociales y ambientales, y asegurando la seguridad y protección en todas las etapas de su uso.

Por último, algunas propuestas relacionadas con el desarrollo de la energía nuclear para aquellos países que apuestan por la energía nuclear o que cuentan con una gran parte de su energía proveniente de la nuclear sugeridas por la AIE (Agencia Internacional de Energía) son las siguientes:

- Prolongar la vida útil de las plantas. Autorizar extensiones de vida útil de las plantas de energía nuclear existentes para que puedan continuar operando durante el mayor tiempo posible de manera segura.
- Crear marcos de financiación para apoyar nuevos reactores. Establecer marcos de financiación y gestión de riesgos para movilizar capital para nuevas plantas a un costo aceptable y con una distribución justa de riesgos entre inversores y consumidores.
- Implementar soluciones para la eliminación de residuos nucleares. Involucrar a los ciudadanos en la priorización de la aprobación y construcción de instalaciones de eliminación de residuos de alta actividad en los países que aún no cuentan con ellas.

- Hacer que los mercados eléctricos valoren la capacidad de bajas emisiones. Diseñar mercados de electricidad para garantizar que las plantas de energía nuclear sean compensadas de manera competitiva y no discriminatoria por evitar emisiones y los servicios que brindan para mantener la seguridad de la electricidad, incluida la disponibilidad de capacidad y el control de frecuencia.

CAPÍTULO 10. BIBLIOGRAFÍA

AEE (Asociación Empresarial Eólica) 2021, “Economía circular en el sector eólico palas de aerogeneradores”

https://aeeolica.org/wp-content/uploads/2021/12/AEE-2021-Economia-Circular-en-el-sector-eolico_Palas-de-los-Aerogeneradores.pdf

Aranzadi Martínez. (2008). *Energía: una visión económica* / José Claudio Aranzadi Martínez. Club Español de la Energía.

Baños, Pedro (2022). *La encrucijada mundial: un manual de mañana* / Barcelona: Ariel.

Central Nuclear de Cofrentes (2022), *Informe mensual noviembre y diciembre 2022* <https://www.cncofrentes.es/wp-content/uploads/2023/01/08.-Informe-mensual-noviembre-y-diciembre-2022.pdf>

Comisión Europea (2016) Paquete legislativo “Energía limpia para todos los europeos”

[https://eurlex.europa.eu/legalcontent/ES/ALL/?uri=CELEX:52016PC0864R\(01\)](https://eurlex.europa.eu/legalcontent/ES/ALL/?uri=CELEX:52016PC0864R(01))

Duke, A. (2018) *Thinking in Bets: Making Smarter Decisions When You Don't Have All the Facts*. Portfolio.

EUROFUSION (Abril, 2019) “*Informed Public Attitudes towards Fusion Energy in Europe*”: http://documenta.ciemat.es/bitstream/123456789/536/1/Public_attitudes_fusion_EU_briefreport_final.pdf

European Commission (2020) *Technical assessment of nuclear energy with respect to the ‘do no significant harm’ criteria of Regulation (EU) 2020/852 (‘Taxonomy Regulation’)* https://commission.europa.eu/system/files/2021-03/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf

Fernández Ordóñez, Manuel. (2023). *Nucleares si, por favor. Por qué la energía nuclear es la energía del futuro* (Deusto)

Foro Nuclear. (2022). *Resultados Nucleares de 2022 y perspectivas de futuro*.

García, Alfredo (2020). *La energía nuclear salvará el mundo: derribando mitos sobre la energía nuclear / Alfredo García* (2ª ed). Planeta.

García, Alfredo (2022). *Geoestrategia de la bombilla : Energía nuclear para un cielo limpio*.

IEA (2022), *Energía nuclear y transiciones energéticas seguras*, IEA, París <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-and-secure-energy-transitions>, Licencia: CC BY 4.0

International Energy Agency (IEA) “Global Energy Transitions Stocktake” <https://www.iea.org/topics/global-energy-transitions-stocktake>

International Energy Agency (IEA) (2019), “*Nuclear Power in a Clean Energy System*”, <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>

International Energy Agency (IEA) Spain 2021: *Energy Policy Review*. <https://www.iea.org/reports/spain-2021>

JRC (2021) Technical assessment of nuclear energy with respect to the ‘do no significant harm’ criteria of Regulation (EU) 2020/852 (‘Taxonomy Regulation’) <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125953>

Kahneman, Sibony, O., Sunstein, C. R., & Chamorro Mielke, J. (2021). *Ruido : un fallo en el juicio humano / Daniel Kahneman, Olivier Sibony, Cass R. Sunstein*; traducción de Joaquín Chamorro Mielke. Debate.

Kahneman. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio / Daniel Kahneman*; traducción de Joaquín Chamorro Mielke (3a ed.). Debate.

Ministerio de Transición Ecológica (2019). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima*. PNIEC https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf

Moody, & Gomez de Jaramillo, S. (1991). *Toma de decisiones gerenciales / Paul E. Moody*; traducción Silvia Gómez de Jaramillo. MacGraw-Hill.

Operador Nuclear (@OperadorNuclear) (septiembre 2020) *La moratoria nuclear*. Twitter. https://twitter.com/OperadorNuclear/status/1301250307637293060?cxt=HHwWiMC16dWQ_I4kAAAA

PWC (PriceWaterhouseCoopers) y Foro Nuclear (2015) “Impacto socioeconómico de la industria nuclear en España” https://www.foronuclear.org/wp-content/uploads/2020/04/Impacto_socioeco%CC%81mico_de_la_industria_nuclear_en_Espan%CC%83a.pdf

Red Eléctrica (Marzo, 2023), *Informe del sistema eléctrico 2022* https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2023-03/ISE_2022.pdf

REE. (Marzo 8, 2022). *Distribución porcentual de la generación de energía eléctrica en España en 2021, por tipo [Gráfica]. In Statista.* de <https://es.statista.com/estadisticas/993747/porcentaje-de-la-produccion-de-energia-electrica-por-fuentes-energeticas-en-espana/> Recuperado el 21 de noviembre de 2022.

República Federal De Alemania, Ministerio de Relaciones Exteriores “*La Energiwendealemana.*” https://www.congreso.es/docu/docum/ddocum/dosieres/sleg/legislatura_12/spl_28/pdfs/9.pdf

Rodríguez Ponce, Emilio. *Análisis Del Impacto Del Proceso de Toma de Decisiones Estratégicas Sobre La Eficacia de Las Organizaciones Públicas.* Vol. 19. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2009. Print.

Velarde Fuertes, Juan, (2013). Principales aspectos de la Economía Energética española. Dykinson

World Nuclear Association (Mayo 2023) *Energía nuclear en la Unión Europea* <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union.aspx>

World Nuclear Association (Diciembre 2020) *Procesamiento de Combustible Nuclear Usado.* <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel.aspx>

World Nuclear Association (Julio 2020) “*Employment in the Nuclear and Wind Electricity Generating Sectors*” <https://www.world-nuclear.org/getmedia/690859bf-eb66-43a2-bedd-57ddf47ee3ac/Employment-in-Nuclear-Report-Final.pdf.aspx#:~:text=On%20the%20basis%20of%20data,of%20electricity%20than%20wind%20power>