



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

**POLÍTICA INDUSTRIAL.
ENERGÍA NUCLEAR COMO
SUBPRODUCTO DEL
RECICLAJE DE RESIDUOS.
ECONOMÍA CIRCULAR Y
APOYO A LA AGRICULTURA.**

**Alumno:
Juan Antonio Molina Castillo**

**Tutor: Prof. D. Manuel Diego Herrera Torrero
Dpto: Organización de Empresas, Marketing y
Sociología**

Diciembre, 2023



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Organización de Empresas, Marketing y Sociología

Don *Manuel Diego Herrera Torrero*, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: *POLÍTICA INDUSTRIAL. ENERGÍA NUCLEAR COMO SUBPRODUCTO DEL RECICLAJE DE RESIDUOS. ECONOMÍA CIRCULAR Y APOYO A LA AGRICULTURA*, que presenta *Juan Antonio Molina Castillo*, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, diciembre de 2023

El alumno:

Juan Antonio Molina Castillo

El tutor:

D. Manuel Diego Herrera Torrero

Índice

1. Antecedentes de la industria nuclear en España	9
2. El Sector de la Energía Nuclear en España	12
3. Análisis de la industria y su entorno	14
3.1. Análisis PESTEL	14
3.1.1. Dimensión política	14
Ideología Política del Gobierno Español Actual	14
Política Europea sobre Energías Verdes	14
Política Energética de España	15
Políticas de otros países europeos que apuestan por la energía nuclear	17
Política Fiscal del sector nuclear español	19
3.1.2. Dimensión Económica	20
Inflación de precios de materias primas	20
Tasa de Variación del PIB	22
Aumento de la tarifa de la factura de luz	23
Nivel de Desempleo	24
3.1.3. Dimensión Socio-cultural	25
Cambio de Pensamiento	25
Estilo de vida	25
Aumento demográfico en España	26

Surgimiento de líderes de opinión y movimientos de divulgación científica con presencia en las redes sociales	27
Manifiesto Nuclear	29
3.1.4. Dimensión Tecnológica	30
Infraestructura Tecnológica Existente	30
Energías Renovables y la implantación del coche eléctrico	30
Cambios tecnológicos, innovación y seguridad en la industria	30
Reactores antiguos	30
Combustible MOX	31
Reactores SMR	34
Reactores de sales fundidas (MSR)	38
Posibilidades económicas de los reactores de última generación	41
Uranio 238 procedente de ácido fosfórico, producción de combustible de sales fundidas y extracción de tierras raras.	44
Hidrógeno verde	45
Combustible sintético	49
Producción de agua desalinizada	51
Seguridad con inteligencia artificial y blockchain	52
3.1.5. Dimensión Ecológica	54
Taxonomía “Verde” de Energías Sostenibles de la Unión Europea	54
Conciencia Medio Ambiental	54

Postura de Grupos Ecologistas	55
Economía Circular	56
Compromisos medioambientales internacionales: Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible	56
3.1.6. Dimensión Legal	57
Legislaciones y regulaciones vigentes	57
3.2. ANÁLISIS DAFO	60
3.2.1. Debilidades	60
3.2.2. Fortalezas	61
3.2.3. Oportunidades y Amenazas	65
4. Objetivos a conseguir	67
4.1. Objetivo General de la Transición Ecológica y Descarbonización	67
4.2. Objetivos Específicos	68
5. Políticas y medidas	69
5.1. Planes existentes	69
5.2. Planes propuestos	69
5.2.1. Plan fiscal y financiación	69
5.2.2. Plan educativo y concienciador	71
5.2.3. Plan de seguridad jurídica	72
5.2.4. Plan de conservación de la industria nuclear actual	73

5.2.5. Plan de minería y fabricación de combustible	74
5.2.6. Plan tecnológico	76
5.2.7. Plan de cooperación internacional	77
5.2.8. Plan de transición energética nuclear	78
5.2.9. Plan de industrialización de la España vaciada	79
5.2.10. Plan de Hidrógeno verde y combustible sintético	80
5.2.11. Plan de desalinización de agua	81
5.2.12. Plan de retorno de inversión para un futuro sostenible	82
5.2.13. Plan de seguridad y transparencia	83
Indicadores de Medición de Resultados	85
Informes semestrales:	85
Proceso de Seguimiento	85
Conclusiones	86
Referencias Bibliográficas	90

Índice de Figuras

Figura 1. Central nuclear abandonada de Lemóniz. Fuente: (Segovia, 2021)	10
Figura 2 Mapa de las Centrales Nucleares Españolas. Fuente: (García, 2023).....	11
Figura 3 Cuadro con las fechas de fin de explotación de las centrales nucleares. Fuente: (Meraviglia, 2019).....	17
Figura 4 Tasa de inflación en los países de la UE en octubre 2022. Fuente: (Sanhermelando, 2022).....	20
Figura 5 Componentes de la tasa de inflación. Fuente: (Eurostat, 2022).	21
Figura 6 Proyecciones Macroeconómicas de España. Fuente: (Banco de España, 2022).	22
Figura 7 Gráfico de la evolución de la subida de luz en España. Fuente: (Selectra, 2022). ...	23
Figura 8. Gráfico de la proyección de la población residente en España 2020-2050. Fuente: (MITECO, 2019).....	26
Figura 9. Logos asociación Jóvenes Nucleares y Women in Nuclear.	27
Figura 10 Perfil de twitter de Alfredo García, el operador nuclear. Fuente: (Twitter).....	28
Figura 11 Perfil de twitter de Manuel Fernández Ordóñez. Fuente: (Twitter).	28
Figura 12. Manifiesto Nuclear. Fuente: (SNE, 2023).....	29
Figura 13 Explicación del paro de un reactor nuclear. Fuente: (García, 2023).	31
Figura 14 Ciclo cerrado de reutilización de residuos radiactivos. Fuente: (Foro Nuclear, 2022b).....	32
Figura 15. Reactor de IV generación BN-800. Fuente: (Rosatom, 2020)	34
Figura 16 Comparación entre reactores convencionales y modulares. Fuente: (HO, 2021). 35	

Figura 17 Transporte de reactor SMR. Fuente: (Foro Nuclear, 2020).....	36
Figura 18. Aplicaciones para el reactor AP-300 SMR. Fuente: (Westinghouse, 2023b).....	36
Figura 19. Diseño exterior del reactor SMR de Rolls-Royce. Fuente: (Rolls-Royce, 2022)	37
Figura 20. Diseño exterior del reactor SSR-W de la empresa española IDOM. Fuente: (Larrosa Peruga, 2020)	38
Figura 21. Diseño del reactor SSR-W "Incinerador de residuos" de la empresa española IDOM.....	40
Figura 22. Central nuclear de Barakah, Emiratos Árabes Unidos. Fuente: (MEConstructionNews, 2022)	43
Figura 23. Planta de procesado de roca fosfórica Phosenergy. Fuente: (DevEX, 2021)	44
Figura 24 Arte conceptual de los vehículos impulsados por hidrógeno verde	48
Figura 25 Imagen del motor diésel modificado para consumir un 90% de hidrógeno. Fuente: (Fisher M., 2020).....	48
Figura 26. Planta de producción de combustible sintético Haru Oni de Porsche en Chile. Fuente: (Porsche, 2022).....	49
Figura 27. Precio del metanol en base al coste del H ₂ . Fuente: (Harpreet Singh et al., 2022)	50
Figura 28 Logos de algunas de las asociaciones ecologistas a favor de la energía nuclear. Fuente: Sus respectivos sitios webs.....	55
Figura 29 Mapa sísmico de España. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.....	62
Figura 30. Mina de uranio en Salamanca. Fuente: (El Mundo, 2023).....	63

Figura 31. Factor de disponibilidad del parque nuclear español. Fuente: (Foro Nuclear, 2022a).....	64
Figura 32. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: (ONU, 2023).....	67
Figura 33. Comparativa datos precio de producción eléctrica de 2022 y el nuevo sistema nuclear.....	87
Figura 34. Gráfico comparativo de la inestabilidad del mercado diario actual frente al Nuevo Sistema Nuclear.....	88

Índice de Tablas

TABLA 1 CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS Y EMPRESAS PROPIETARIAS. FUENTE: (FORO NUCLEAR, 2021) Y ELABORACIÓN PROPIA.....	12
TABLA 2. ESTIMACIONES DE PARO 2023-2024. FUENTE: (BANKINTER, 2023).....	24
TABLA 3. PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE MOX (T/AÑO). FUENTE: (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2020A).....	33
TABLA 4. TIPOS DE REACTORES, TENOLOGÍA Y POTENCIA. FUENTE: (SAMALOVA ET AL., 2017) Y ELABORACIÓN PROPIA.	41
TABLA 5. INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS EN LA TASA DE DESCUENTO EN LA ESTRUCTURA LUEC (\$/MWH). FUENTE: (SAMALOVA ET AL., 2017).....	42
TABLA 6. TEMPERATURA DE SALIDA DE ALGUNOS TIPOS DE REACTORES NUCLEARES. FUENTE: (ELDER & ALLEN, 2009)	47
TABLA 7. COMPARATIVA DE EFICIENCIA TÉRMICA-HIDRÓGENO. FUENTE: (ELDER & ALLEN, 2009)	47
TABLA 8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTES DE DESALACIÓN POR TIPO DE AGUA Y TECNOLOGÍA. FUENTE: MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ NIETO, CATEDRÁTICO EN TECNOLOGÍAS DEL MEDIO AMBIENTE, DEPTO. INGENIERÍA CIVIL, UGR.	51
TABLA 9 CUADRO RESUMEN DEL ANÁLISIS PESTEL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	59
TABLA 10 MATRIZ DAFO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	66
TABLA 11. PREVISIÓN CON HIPÓTESIS DE PRECIO MÁXIMO 40 €/MWH. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, DATOS (OMIE, 2023A)	87

1. Antecedentes de la industria nuclear en España

España llegó a tener el programa nuclear más ambicioso de Europa. Con un horizonte marcado en los 22 GW de potencia, lo que supondría la construcción de cerca de 40 centrales nucleares. Esto supuso que España fuese el mayor importador de tecnología nuclear estadounidense a partir de los años 50. También, fue referente en la industria del uranio, con minas de uranio en distintos puntos del país como Salamanca o Badajoz y un centro de enriquecimiento de uranio como combustible en Andújar (Page, 2018).

Las leyes pronucleares en aquellos años hicieron de España el laboratorio mundial de la investigación nuclear, contando ya en 1958 con un reactor experimental en Madrid seguido en poco tiempo por los de Bilbao y Barcelona (Page, 2018).

La política industrial existente en ese período permitió que el programa nuclear se desarrollara rápidamente por capital privado e importantes alianzas internacionales. Fueron las compañías eléctricas privadas las que sellaron acuerdos para poder comprar reactores estadounidenses, contando con todas las facilidades norteamericanas en cuanto a financiación bancaria y la realización de proyectos en que ingenieros de EEUU se encargaban casi de todo el proceso hasta la puesta en marcha de las nuevas centrales (Page, 2018).

La compañía Unión Eléctrica Madrileña, origen de la actual Gas Natural Fenosa, encargó en 1965 al grupo norteamericano Westinghouse la construcción de la que sería la primera central nuclear española. Ubicada en Almonacid de Zorita (Guadalajara), la planta entró en funcionamiento en 1968 y se convirtió en el primer proyecto nuclear exportado por EEUU en su historia. Cuando Nuclenor, hoy controlada a partes iguales por Endesa e Iberdrola, encargó a General Electric levantar Santa María de Garoña (Burgos) se trataba de la mayor central en construcción en Europa y entró en funcionamiento en 1971 (Page, 2018).

Las eléctricas solicitaron los permisos para construir 27 reactores nucleares en España. La Administración concedió formalmente la autorización para construir hasta 15 centrales, de las que sólo se llegaron a funcionar 10 (Page, 2018).

El llamado “síndrome de China” entre la población a finales de los años 70, provocó malestar en un sector de la población. Esto llevó a que algunos partidos políticos hiciesen suyo el discurso e introdujeran en su programa electoral la paralización del programa nuclear español. Incluso la banda terrorista ETA vio una oportunidad de conseguir simpatizantes entre los movimientos antinucleares, cosa que desembocó en el asesinato del ingeniero jefe de la central en construcción en Lemóniz, el asesinato de su sustituto y la detonación de una bomba en la misma central que por suerte aún se encontraba en ausencia de combustible radioactivo, pero acabó con la vida de dos operarios (Monforte, 2015).



Figura 1. Central nuclear abandonada de Lemóniz. Fuente: (Segovia, 2021)

Con la entrada en el gobierno de uno de los partidos con ideas contrarias a la energía nuclear, se comenzó a gestar lo que se conoce como la “Moratoria Nuclear”, que implicaba la paralización de cinco de las centrales en construcción y la proyección de nuevas. Esta política también paralizó por completo la minería e industria del uranio (Monforte, 2015).

De las 15 centrales autorizadas, el Gobierno impidió que se continuará con la construcción de cinco reactores: Valdecaballeros I y II, Trillo II, y Lemóniz I y II. También, ordenó el paulatino cierre de las minas de uranio cesando la emisión de permisos de prospección y minería. La minería de uranio cesó por completo su actividad en 2000 y la

industria de enriquecimiento de uranio se redujo la fábrica de Juzbado, aún activa en la actualidad (Page, 2018).

Esta política hizo del sistema energético un sistema deficitario, ya que el gobierno debía asumir las pérdidas de las eléctricas implicadas e indemnizar a las mismas, factura que ascendió a 5717 millones de euros y que pagaron los consumidores durante los siguientes 20 años (Page, 2018).

Esta serie de acontecimientos redujo el ambicioso plan nuclear de los 22 GW originalmente proyectados a una potencia instalada de 8500 megavatios (MW) reduciendo el número original de reactores de 40 a 10 (Page, 2018).

Siendo puesto en funcionamiento el último de los reactores en 1988, hubo un espacio de tiempo de funcionamiento normal. Tras la desconexión de la red de Vandellós I, de Zorita (en 2006) y de Garoña (en 2012), España ha estabilizado su potencia nuclear en 7400 MW repartida en los siete reactores restantes (Almaraz I y II; Ascó I y II; Cofrentes, Vandellós II y Trillo) (Page, 2018).

La política actual comprende un plan de desmantelamiento que abarcaría el cierre de todas las centrales en funcionamiento entre los años 2027 y 2035.



Figura 2 Mapa de las Centrales Nucleares Españolas. Fuente: (García, 2023)

2. El Sector de la Energía Nuclear en España

España cuenta en la actualidad con instalaciones nucleares que cubren el ciclo de combustible completo: siete reactores nucleares operativos Almaraz I y II (Cáceres), Ascó I y II (Tarragona), Cofrentes (Valencia), Trillo (Guadalajara) y Vandellós II (Tarragona), una fábrica de combustible nuclear de Juzbado (Salamanca) y un centro de almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad en El Cabril, Córdoba (Foro Nuclear, 2021a).

Los 7 reactores en operación ubicados en 5 emplazamientos tienen una potencia bruta instalada conjunta de 7398,7 MWe (7.117 MWe netos), cerca del 6,31% del total de la potencia eléctrica instalada en el país. El sector genera cada año entre 55000 y 60000 GWh que corresponde a más del 20% de la electricidad consumida en el país. Debido a su capacidad de generación, la energía nuclear se ha convertido desde hace más de una década en la primera fuente de producción dentro del sistema eléctrico español (Foro Nuclear, 2021a).

TABLA 1 CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS Y EMPRESAS PROPIETARIAS. FUENTE: (FORO NUCLEAR, 2021) Y ELABORACIÓN PROPIA

Central nuclear	Empresa propietaria	Tipo de reactor	Potencia MWe	Inicio operación comercial
Almaraz I	Iberdrola (53%) Endesa (36%) Naturgy (11%)	PWR	1049,4	Septiembre 1983
Almaraz II	Iberdrola (53%) Endesa (36%) Naturgy (11%)	PWR	1044,5	Julio 1984
Ascó I	Endesa (100%)	PWR	1032,5	Diciembre 1984
Ascó II	Endesa (85%) Iberdrola (15%)	PWR	1027,2	Marzo 1986
Cofrentes	Iberdrola (100%)	BWR	1092	Marzo 1985
Trillo	Iberdrola (49%) Naturgy (34,5%) EDP (15,5%) Endesa (1%)	PWR	1066	Agosto 1988
Vandellós II	Endesa (72%) Iberdrola (28%)	PWR	1087,1	Marzo 1988

PWR: Reactor de agua a presión, Pressurized Water Reactor.

BWR: Reactor de agua en ebullición, Boiling Water reactor.

En España existen dos proveedores extranjeros de tecnología nuclear:

- *Westinghouse*, que acaba de cumplir 50 años en el país y considerada una alianza estratégica. Con una de las tecnologías más avanzadas en reactores de todo tipo (Foro Nuclear, 2021a).
- *Hitachi*, una compañía relativamente nueva creada en el año 2007 y que está a la vanguardia de rediseño de componentes de centrales de las primeras generaciones (Foro Nuclear, 2021a).

España cuenta con empresas como **Tecnatom**, que en alianza con Westinghouse e Hitachi se encarga de la formación de los operadores nucleares y de la investigación y desarrollo de sistemas de control y seguridad para toda la industria nuclear (Foro Nuclear, 2021a).

Westinghouse también es socio estratégico de *ENUSA* en el campo del combustible nuclear. *ENUSA* exporta más del 50% de su producción gracias a esta alianza (Foro Nuclear, 2021a).

Cabe destacar que la fábrica de combustible gestionada por *ENUSA* en Juzbado (Salamanca) es una de las más avanzadas. Su labor de investigación y desarrollo en este campo es reconocida a nivel mundial (Foro Nuclear, 2021a).

Además, el sector de energía nuclear español cuenta con el centro de almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad de El Cabril (Córdoba), que pertenece a Enresa.

La empresa ingenierística **IDOM**, una de las más importantes e internacionales del país, está colaborando con Canadá en el diseño y desarrollo ya en fase avanzada de un reactor de IV generación alimentado y refrigerado por sales fundidas (Larrosa Peruga, 2020).

3. Análisis de la industria y su entorno

3.1. Análisis PESTEL

3.1.1. Dimensión política

Ideología Política del Gobierno Español Actual

Esta variable del ámbito Político afecta de manera negativa al sector de la industria nuclear en España. Esto se debe a la postura que posee el partido político actual frente a la energía nuclear en donde destaca un fuerte rechazo al uso de las energías nuclear y térmica. Su justificación es la consideración de que el país tiene ahora una gran oportunidad para dejar de ser importador de energía y convertirse en exportador de energía verde, aunque dicha transición ecológica esté aún prevista para el largo plazo (Sociedad Nuclear Española, 2022b).

Esta información se justifica con las declaraciones del presidente del gobierno durante la primera jornada de la 26 edición del Debate sobre el Estado de la Nación celebrado el 12 de julio de 2022 en Madrid, España (Sociedad Nuclear Española, 2022b).

Política Europea sobre Energías Verdes

A diferencia de la postura del Gobierno Español, la Unión Europea considera la energía nuclear verde y esencial para la transición ecológica de las fuentes de energía del continente.

Esta variable afecta positivamente al sector de la industria nuclear en España puesto que el Parlamento Europeo ha aprobado la propuesta de la Comisión Europea de incluir el gas y las centrales nucleares dentro de la taxonomía verde, de tal forma que estas dos tecnologías se equiparan a las energías renovables en los programas de finanzas sostenibles (Tena, 2022).

La propuesta fue elevada por la Comisión Europea en febrero de 2022 y ha sido ratificada por la mayoría de los europarlamentarios. El reglamento de la taxonomía verde

tiene el objetivo de orientar las inversiones privadas hacia prácticas económicas que sean más respetuosas con el medio ambiente y que ayuden a impulsar la transición ecológica y energética de Europa (Tena, 2022).

Mediante la aprobación de la propuesta por votación, Europa modifica la norma y permite que el gas y las nucleares entren dentro del etiquetado verde permitiendo a estas fuentes de energía competir con la solar o la eólica, entre otras renovables, para recibir ayudas propias de tecnologías no emisoras de gases de efecto invernadero e impulsar la innovación para el fomento de la competitividad de las energías renovables(Tena, 2022).

Además, se ha establecido en el reglamento que se considerarán verdes todas las centrales nucleares que cuenten con un permiso de construcción antes de 2045 y siempre que presenten garantías de poder tratar los residuos radiactivos. Por lo que respecta al gas, se ha aprobado que este debe emitir menos de 270 kg de CO₂ por KW/h y disponer de un permiso de construcción anterior a 2030 (Tena, 2022).

Política Energética de España

En esta variable se encuentran aspectos que favorecen la implementación de la energía nuclear y otros aspectos que influyen negativamente al sector.

En el caso de aspectos de influencia positiva se encuentran los objetivos planteados en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) de 2021-2030, donde se establecen la reducción de emisiones, el incremento del uso de energías renovables y la mejora en la eficiencia energética (MITECO, 2020).

Este proyecto es la planificación del Gobierno para alcanzar los objetivos de la Unión Europea en cuanto a política energética y climática en 2030. Algunos de los objetivos, en concreto, serían:

- Alcanzar un 32% de energía renovable frente al consumo total de energía.
- Reducir las emisiones un 40% respecto a 1990.
- Mejorar un 32,5% la eficiencia energética.
- Alcanzar una interconexión eléctrica entre los Estados miembros de un 15%.

Su influencia es positiva dentro del desarrollo del sector porque la energía nuclear desempeña un papel importante en el cumplimiento de los objetivos del Plan, sobre todo el que está relacionado con la reducción de emisiones contaminantes ya que, cada año la industria nuclear evita la emisión a la atmósfera de unos 30 millones de toneladas de CO₂ y la producción eléctrica nuclear supone entre el 30% y el 40% de la electricidad libre de emisiones generadas en España (Foro Nuclear, 2021a).

Aunque el gobierno actual no apoya el desarrollo de la energía nuclear, los resultados obtenidos, de acuerdo con el Foro Nuclear Español (2021), posicionan esta fuente energética como la que más ayuda a evitar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Se espera que a partir de 2030 estos porcentajes sigan incrementándose, reduciendo cada vez más las emisiones de gases y apostando por los sistemas eléctricos 100% renovables (MITECO, 2020).

Por el contrario, un aspecto de la política energética española que afecta negativamente al sector nuclear viene del mismo Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), en donde las principales empresas energéticas y el Gobierno acordaron el calendario de cierre de los reactores nucleares del país (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

Las fechas de cierre oscilan entre 2027 y 2035, como recoge Enresa, la empresa pública que se encarga de la gestión de los residuos radiactivos, en el 7º Plan General de Residuos Radiactivos, ya que se irán cerrando de forma paulatina y ordenada.

La política energética la marca el Gobierno, por tanto, le corresponde tomar la decisión de cierre o de extensión de las centrales nucleares y en la actualidad, la política que han marcado es una de desmantelamiento.

El apagón nuclear

Central	Emplazamiento	Empresa propietaria	% de participación	Potencia eléctrica (MW)	Inicio operación comercial	Cierre definitivo de la planta
Almaraz I	Almaraz (Cáceres)	Iberdrola	53,0	1.049,2	Sep. 1983	2027
		Endesa	36,0			
		Naturgy	11,0			
Almaraz II	Almaraz (Cáceres)	Iberdrola	53,0	1.051,8	Jul. 1984	2028
		Endesa	36,0			
		Naturgy	11,0			
Ascó I	Ascó (Tarragona)	Endesa	100,0	1.032,5	Dic. 1984	2029
Ascó II	Ascó (Tarragona)	Endesa	85,0	1.027,2	Mar. 1986	2030
		Iberdrola	15,0			
Cofrentes	Cofrentes (Valencia)	Iberdrola	100,0	1.092,0	Mar. 1985	2033
Vandellós II	Vandellós y L'Hospitalet del Infant (Tarragona)	Endesa	72,0	1.087,1	Mar. 1988	2034
		Iberdrola	28,0			
Trillo	Trillo (Guadalajara)	Iberdrola	48,0	1.066,0	Ago. 1988	2035
		Naturgy	34,5			
		EDP	15,5			
		Nuclenor	2,0			

Todas las centrales son de agua a presión (PWR), excepto Cofrentes que es de agua en ebullición (BWR).

Figura 3 Cuadro con las fechas de fin de explotación de las centrales nucleares. Fuente: (Meraviglia, 2019)

Políticas de otros países europeos que apuestan por la energía nuclear

La aparición de nuevos países que implementan programas de energía nuclear representa una oportunidad para el desarrollo del sector.

Un ejemplo, es el caso de Polonia cuyo gobierno aprobó en octubre de 2020 la versión final del programa nuclear del país, en el que se prevé construir seis unidades con entre 6000 y 9000 MW de potencia instalada conjunta, basándose en reactores de agua a presión de diseños de las Generaciones III y III+ y con una inversión estimada de 34000 millones de euros (Foro Nuclear, 2022c).

A principios de 2023, Polonia y GE Hitachi Nuclear Energy firmaron un acuerdo con el encargo de 79 reactores nucleares modulares de última generación SMR BWRX-300. Este movimiento, junto a la oferta de formación especializada en energía nuclear en todas las universidades del país, confirma un plan nuclear a gran escala (World Nuclear News, 2023).

Además, el surgimiento de alianzas estratégicas entre países para fomentar el desarrollo exógeno del sector nuclear es una oportunidad que se presenta en la actualidad. Un ejemplo claro de esta cooperación política es el de Hungría que ha hecho un acuerdo con Rusia para ampliar su central nuclear de Packs de 2GW a 4.4GW. El proyecto costará unos 12500 millones de euros, cuya realización será mediante un crédito ruso y con la participación de la empresa estatal rusa Rosatom. El proyecto se realiza porque se hace más evidente que la energía nuclear hace más seguro el suministro energético (Euronews, 2022b).

Otro ejemplo es el de Rumanía ya que, ha recibido financiación de EEUU en forma de un compromiso financiero de más de 3000 millones de dólares para la construcción de dos nuevos reactores nucleares cuyas obras se espera que comience en la primavera de 2023. Con este apoyo americano Rumanía prevé cubrir aproximadamente un tercio del importe necesario para la construcción de los dos reactores de Cernavoda (sureste) y el resto mediante otras fuentes de financiación. Esta política de expansión de la capacidad de producción de energía nuclear se fundamenta en el logro de la independencia energética del país (Energy News AFP, 2022).

A principios de 2022, Rumanía ratificó un acuerdo con la estadounidense *NUSCALE* que podría convertir al país de los Balcanes en el primero con una central SMR de última generación para sustituir la antigua central térmica en Doicești (Balkan Green Energy News, 2023).

También, se han intensificado proyectos de cooperación entre países para el desarrollo de la energía nuclear. Un caso de dicha cooperación es el que existe entre Bulgaria y Grecia. Bulgaria abastece de energía eléctrica a Grecia mediante la producción en su central nuclear de 3.8GW y ya han anunciado ambos gobiernos la colaboración conjunta para la construcción de un nuevo reactor. Esto se basa en una relación de beneficio mutuo en la que Grecia aporta para el desarrollo de las centrales nucleares en Bulgaria y obtiene contratos bilaterales a largo plazo, que garantizarían un suministro estable de energía a precios muy bajos (Chávez, 2022).

Política Fiscal del sector nuclear español

En enero de 2021, los grupos europarlamentarios Renew Europe y ECR (European Conservatives and Reformists) publicaron el informe Road to EU Climate Neutrality by 2050, en el cual han participado expertos de relevancia mundial y en el que ponen en valor la energía nuclear para poder alcanzar la neutralidad climática en 2050 (P.Energía, 2021).

El informe incluye costes de las centrales nucleares europeas. Por ejemplo, el costo nivelado de energía (LCOE) de la nuclear en Países Bajos es de 35 €/MWh y el de República Checa es de 30 €/MWh para un costo medio ponderado de capital (WACC) del 0% (P.Energía, 2021).

Por otro lado, en España, los costes actuales de la generación nuclear se estiman en torno a 57 €/MWh, según Foro Nuclear (2021). La principal diferencia entre estos dos niveles de coste radica en la muy superior carga impositiva que soportan las centrales nucleares en España, y que supone alrededor de 23 €/MWh con la suma de todos los impuestos y tasas que gravan la generación eléctrica nuclear (P.Energía, 2021).

En el año 2020 la presión fiscal se ha visto incrementada, con la entrada en vigor de un nuevo impuesto en Cataluña y la extensión a todas las centrales de la tasa que financia el servicio de respuesta prestado por las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (González Jiménez, 2021).

Además, según lo acordado en marzo de 2019 con Enresa, un hecho destacable es que, desde el 1 de enero de 2020, la tarifa fija unitaria de la prestación patrimonial para la financiación de Enresa llamada "tasa Enresa" y aportada por las empresas propietarias de las centrales nucleares se ha incrementado en un 19,2%, pasando de un valor de 6,69 euros/MWh a un valor de 7,98 euros/MWh (González Jiménez, 2021).

La concurrencia de los bajos precios de mercado y la elevada presión fiscal ha supuesto que el parque nuclear haya funcionado por primera vez en 2020 con un flujo de caja operativo negativo, porque los precios del mercado no han cubierto sus costes operativos, impuestos y tasas (González Jiménez, 2021).

También, cabe destacar que el gravamen de alguno de los impuestos y tasas no se produce sobre los beneficios del parque nuclear, sino sobre el objeto de la operación de las

centrales, es decir, la producción de electricidad. Toda esta presión fiscal ha ocasionado que en 2020, el 61% de la facturación de las centrales nucleares se dedicase al pago de impuestos y tasas, un drástico incremento si se compara con el ejercicio anterior, cuando este porcentaje fue del 40% (González Jiménez, 2021).

Como consecuencia de la elevada presión fiscal, unida a la incertidumbre sobre la evolución futura de los precios del mercado eléctrico, en España, se ha puesto en riesgo la viabilidad económica de sus centrales nucleares poniendo en marcha programas de desmantelamiento. Sin embargo, en otros países, se desarrollan medidas para poner en valor la firmeza y estabilidad de la generación nuclear, acompañando así al desarrollo de las energías renovables porque entienden que, sin la contribución de la energía nuclear, conseguir la neutralidad en carbono resultaría mucho más costoso y lento (P.Energía, 2021).

3.1.2. Dimensión Económica

Inflación de precios de materias primas

Aunque esta variable afecta negativamente la economía española y la generación de energía a base de gas, sitúa en una posición favorable la apuesta por la energía nuclear.

De acuerdo con la oficina estadística de la Unión Europea, Eurostat (2022), la inflación marcó un nuevo máximo histórico del 10,6% dentro de la Eurozona en octubre de este año, en comparación al 9,9% registrado en septiembre. La cifra histórica es impulsada por la escalada de los precios de la energía y de los alimentos derivada de la crisis energética actual proveniente de la guerra entre Ucrania y Rusia, la cual ha limitado el suministro de gas europeo demostrando la alta dependencia energética del continente (Sanhermelando, 2022).

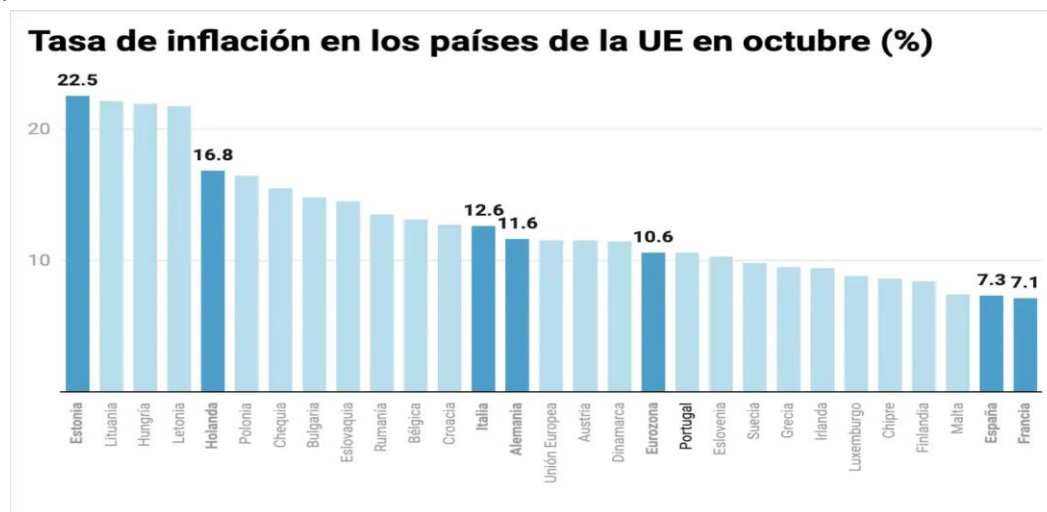


Figura 4 Tasa de inflación en los países de la UE en octubre 2022. Fuente: (Sanhermelando, 2022)

En la gráfica anterior se puede apreciar que España es el segundo país con menor subida de precios entre los 27 (7,3%). Con este dato de octubre, España encadena tres meses seguidos de bajada de la inflación y ha pasado de estar entre los peores de la UE a ser el segundo país con menor subida de precios, por detrás de Francia. Sin embargo, a pesar de este pequeño logro la inflación española casi multiplica por cuatro el objetivo del Banco Central Europeo y la cifra puede aumentar por los períodos de incertidumbre que atraviesa el país (Sanhermelando, 2022).

Para una mayor comprensión del origen de la subida, se analizaron los componentes principales de la inflación de la Eurozona cuyo resultado se resume en la siguiente gráfica (Eurostat, 2022).

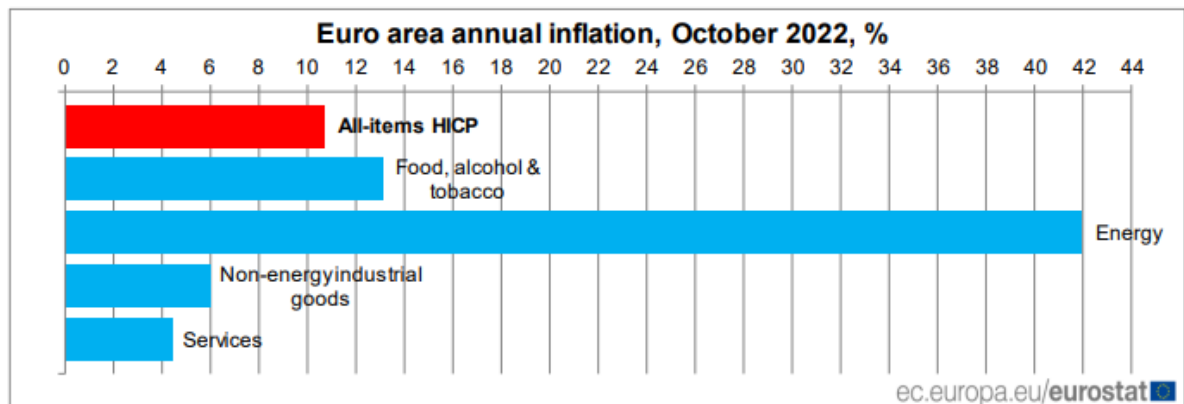


Figura 5 Componentes de la tasa de inflación. Fuente: (Eurostat, 2022).

A través de la gráfica, Eurostat (2022) demostró que la energía obtuvo la tasa anual más alta en octubre (41,9 %, frente al 40,7 % en septiembre), seguido de alimentación, alcohol y tabaco (13,1 %, frente al 11,8% en septiembre), bienes industriales no energéticos (6,0%, frente al 5,5% de septiembre) y servicios (4,4%, frente al 4,3% de septiembre).

Por este motivo, se puede afirmar que la energía es la principal causa del incremento de la tasa de inflación y es de vital importancia la elaboración de unas políticas que controlen el alza en los precios de la misma. En ese sentido, la energía nuclear presenta una solución viable al problema puesto que es una fuente energética verde de bajo coste y reduce la dependencia energética de los países contribuyendo a la estabilidad del suministro eléctrico.

Tasa de Variación del PIB

El producto interior bruto PIB, es el valor monetario de los bienes y servicios finales producidos en la economía en un período determinado de tiempo. Sirve como un indicador macroeconómico que ayuda a medir el crecimiento o decrecimiento de la producción de bienes y servicios de la actividad interna del país(Encalada et al., 2014).

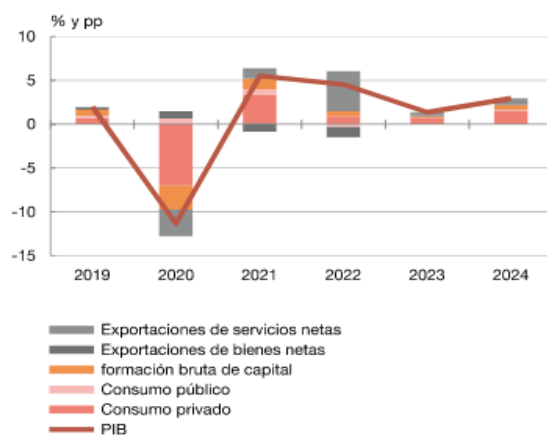
Debido a que esta medida macroeconómica representa un referente del crecimiento económico de un país y su cálculo confluye en la sumatoria de la producción nacional, también se puede vincular su interpretación con la cantidad de energía que es consumida por la población de un país en un determinado período de tiempo. Es por esto, que el PIB puede usarse como un indicador para la previsión de la demanda energética(Encalada et al., 2014).

Proyecciones macroeconómicas de la economía española (2022-2024) (a)

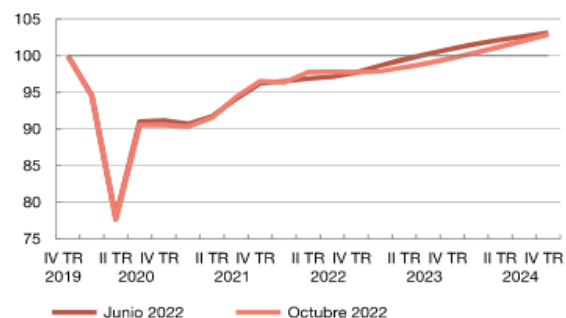
Tasas de variación anual (%)

	2020	2021	Proyecciones de octubre de 2022		
			2022	2023	2024
PIB	-11,3	5,5	4,5	1,4	2,9
IAPC (b)	-0,3	3,0	8,7	5,6	1,9
Empleo (horas trabajadas)	-11,4	7,2	4,0	0,8	2,5
Tasa de paro (% población activa) (c)	15,5	14,8	12,8	12,9	12,4

Crecimiento del PIB y contribuciones de los principales componentes



PIB real. Nivel (IV TR 2019 = 100)



FUENTES: INE y Banco de España.

Figura 6 Proyecciones Macroeconómicas de España. Fuente: (Banco de España, 2022).

La tabla y la gráfica muestran las previsiones de las tasas de variación anual del PIB en España para los años 2023 y 2024. En ella se puede observar una tasa de crecimiento reducido del PIB en relación con el año 2022, sin embargo, al ser positivas, representan un aumento en el consumo de energía cuya demanda puede ser absorbida mediante el aumento de la capacidad de producción de energías verdes y de bajo coste como la proveniente del sector nuclear.

Aumento de la tarifa de la factura de luz

La factura de la luz en España se ha incrementado más del 67% en 2022, de 111,05 €/MWh en 2021 a 185,79 €/MWh de acuerdo con los datos del Operador del Mercado Ibérico de Energía (Selectra, 2022). Las principales razones de este incremento son la inflación, el incremento del coste de materias primas como el gas natural y el petróleo y las consecuencias de la recuperación tras la pandemia (Selectra, 2022).

A pesar de los diversos factores ya mencionados, el más influyente sin duda es el incremento del precio del gas porque la producción de energía a través de los ciclos combinados representa entre el 15% y el 25% de la electricidad producida al día en España. Además, debido al funcionamiento del mercado eléctrico español en cuanto al mecanismo de fijación de los precios de la electricidad provoca que el precio final de la luz lo determine la oferta más cara, en este caso, la que utiliza gas natural (Selectra, 2022).

Al verse afectados todos los consumidores por que la factura de luz sigue incrementando, las personas empiezan a tomar conciencia sobre cómo funciona el mercado eléctrico y comienzan a demandar soluciones con fuentes de energía eficientes, baratas y verdes.

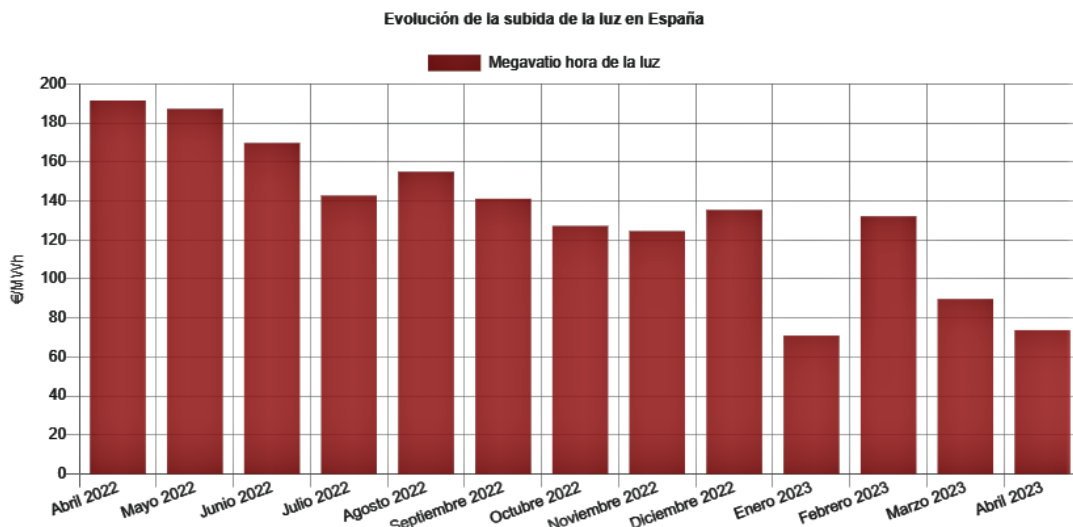


Figura 7 Gráfico de la evolución de la subida de luz en España. Fuente: (Selectra, 2022).

Nivel de Desempleo

España posee la tasa de desempleo más alta de toda la Unión Europea con un 12,4% registrada en agosto de 2022. Esta tasa de paro es más del doble que la media de la Unión Europea, la cual permaneció estable en el 6% durante agosto con respecto a julio de este año (Intereconomía, 2022).

De acuerdo con estimaciones del Instituto Nacional de Estadística (INE), esta tasa de paro no hará más que crecer en los próximos años, ya que establecen que la tasa de paro será de 13,7% para 2023 y 13,4% para 2024 a como se puede apreciar en la siguiente tabla.

TABLA 2. ESTIMACIONES DE PARO 2023-2024. FUENTE: (BANKINTER, 2023)

Estimaciones Paro	2021	2022	2023 est.	2024 est.
Paro España	13,3	12,9	13,7	13,4
Paro Eurozona	7,0	6,7	6,9	6,8
Paro Portugal	6,3	6,8	7,0	6,7
Paro EE. UU.	3,9	3,5	4,3	4,6
Paro R. Unido	4,0	3,7	4,3	4,5
Paro Irlanda	5,0	4,4	4,7	4,9
Paro Suiza	2,6	2,1	2,2	2,0
Paro Japón	2,7	2,5	2,4	2,4
Paro China	5,1	5,5	5,0	4,5

En este caso el desarrollo del sector nuclear en España podría presentar una oportunidad de atracción industrial necesaria para la creación de numerosos puestos de trabajo y así afrontar la amenaza de las proyecciones de las cifras del paro.

3.1.3. Dimensión Socio-cultural

Cambio de Pensamiento

Con la subida de los precios de la electricidad, la población se ha puesto más implicada en conocer cómo funciona el mercado eléctrico español y es más demandante en cuanto a cómo se obtiene la energía eléctrica al pedir que sean fuentes limpias, seguras y de bajo coste.

Por ende, en la actualidad, existe la aceptación social necesaria para la proliferación de proyectos renovables y su posible concentración en las localizaciones que disfrutaran de los mejores recursos ya que, los ciudadanos perciben directamente los beneficios del despliegue de las energías renovables en su vida diaria. En ese sentido, es necesario incluir la perspectiva social en el conjunto de medidas planteadas y promover un papel proactivo de la ciudadanía en la transición energética (MITECO, 2020).

El apoyo social a la energía nuclear se ha duplicado en tan solo dos años en España. Según una encuesta de Metroscopia, en el verano de 2021 solo un 28% de los españoles estaba a favor de promover la energía nuclear. A día de hoy, ya es el 45% quién se muestra partidario de estas energías, y solo uno de cuatro españoles cree que deberían cerrarse todas las centrales nucleares que hay en España en los plazos establecidos. La mayoría considera que el cierre debería aplazarse durante un tiempo, y seis de cada diez españoles se sienten seguros con esta fuente de energía(65ymás, 2023).

Los datos muestran un cambio en la perspectiva social sobre la energía nuclear que está aumentando a medida que las personas se informan sobre su potencial para la consecución de objetivos de eficiencia energética, reducción de emisiones y autosuficiencia.

Estilo de vida

Los ciudadanos europeos mantienen un estilo de vida de confort y alta calidad, lo que se traduce en un mayor consumo de energía al no estar dispuestos a renunciar a sus hábitos y preferencias en el corto plazo. Por lo tanto, mientras se logra la transición a un modo de vida sostenible mediante el desarrollo de las tecnologías renovables, hay que asegurar un suministro de energía estable y barato; siendo la energía nuclear una opción viable a considerar.

Aumento demográfico en España

La Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal (AIReF) estima que la población española aumentará entre 4 y 13 millones en los próximos 30 años para situarse entre los 50 y los 60 millones en 2050. Por otro lado, para el año 2050 la proyección del Instituto Nacional de Estadística (INE) se sitúa en 49,9 millones de habitantes, una población total significativamente menor (MITECO, 2019).

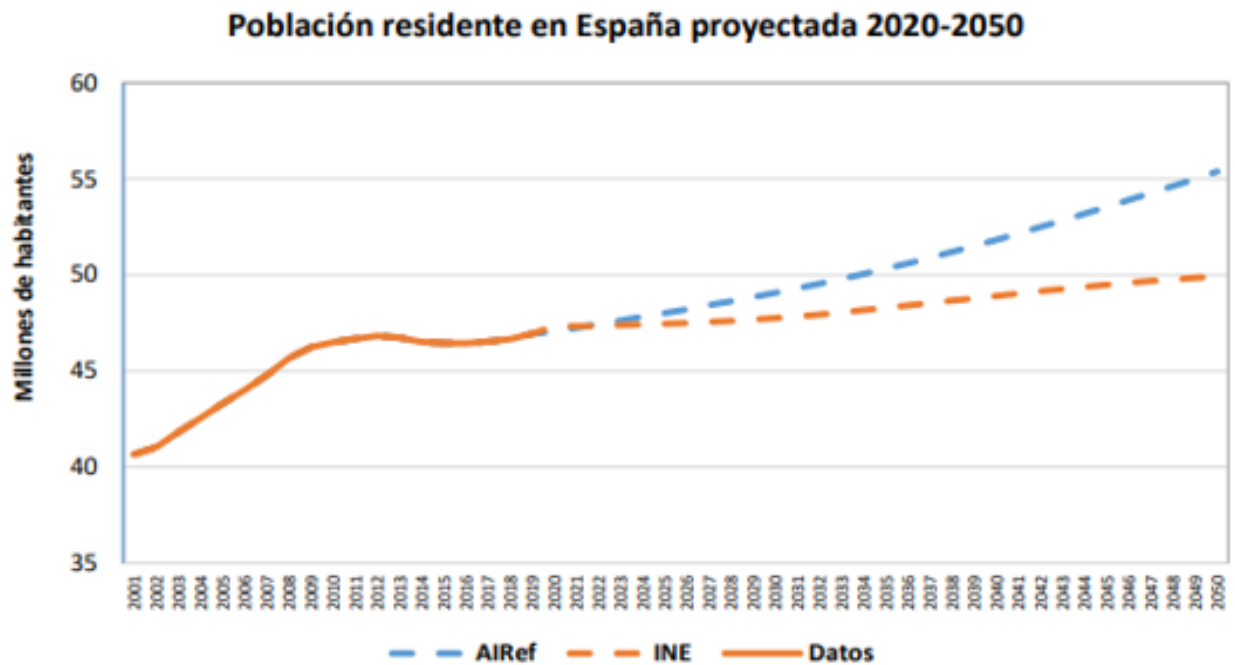


Figura 8. Gráfico de la proyección de la población residente en España 2020-2050. Fuente: (MITECO, 2019).

El gráfico muestra la proyección del incremento de la población en España, la cual es un buen indicador para la realización de predicciones de la demanda energética del país en el futuro. Al observarse un incremento de la población y, por ende, un incremento del consumo energético, se hace necesario la expansión de fuentes energéticas que tengan la capacidad de absorber la demanda y asegurar un suministro eléctrico sostenible (MITECO, 2019).

Surgimiento de líderes de opinión y movimientos de divulgación científica con presencia en las redes sociales

Una muestra importante del cambio en el pensamiento de la sociedad española sobre la energía nuclear queda patente en los numerosos grupos de apoyo emergentes en todo tipo de redes sociales.

La heterogeneidad y abundancia de estos grupos va desde asociaciones de mujeres científicas, asociaciones ecologistas y juveniles hasta operadores de las centrales nucleares del país. Este es el caso del divulgador científico Alfredo García, quien es conocido en las redes como @operadornuclear, por el puesto que ocupa en la central de Ascó. Es pionero en la defensa del mix de energías renovables y atómicas. Su figura en twitter ya es considerada un influencer y se ha convertido en uno de los divulgadores científicos más reputados y populares con 134200 seguidores. Su labor en las redes sociales es la defensa de la energía atómica al romper bulos y mitos que ayudan a eliminar el sesgo de información que existe sobre la energía nuclear desde hace muchos años (Mucha, 2021).



Figura 9. Logos asociación Jóvenes Nucleares y Women in Nuclear.

Operador Nuclear
@OperadorNuclear

Alfredo García. Licencia Operador Reactor y Supervisor, Ingeniero Telecomunicaciones, Licenciado Comunicación Audiovisual y Divulgador.

Figura 10 Perfil de twitter de Alfredo García, el operador nuclear. Fuente: (Twitter).

The Good MAFO
@fdezordonez

Doctor en Física Nuclear.
Columnista en @TheObjective_es y en @libertaddigital
Autor de "Nucleares Sí, Por favor (DEUSTO)" y "En Busca de la Libertad (GAVETA)"

Figura 11 Perfil de twitter de Manuel Fernández Ordóñez. Fuente: (Twitter).

Manifiesto Nuclear

El 1 de marzo de 2023, los trabajadores del sector nuclear, representados por la Sociedad Nuclear Española, publicaron lo que llamaron Manifiesto Nuclear. A lo largo del año ha recibido miles de firmas de apoyo de las cuales un alto porcentaje pertenece a la comunidad científica (SNE, 2023).

En este documento dejan patentes los motivos por los que el parque nuclear español es indispensable y debe continuar en funcionamiento.



Figura 12. Manifiesto Nuclear. Fuente: (SNE, 2023)

3.1.4. Dimensión Tecnológica

Infraestructura Tecnológica Existente

Energías Renovables y la implantación del coche eléctrico

Existe un gran problema con las energías renovables basadas en tecnologías dependientes del litio. Un material con una vida corta y generador de grandísimas cantidades de residuos imposibles de reciclar y tóxicos entre 500 y 1000 años (De la Torre, 2022).

Las tecnologías de energías renovables hechas con litio y tierras raras suponen un impacto medioambiental muchísimo más grande, generan miles de veces más residuos y no se someten apenas a controles que garanticen una mínima seguridad a medio corto plazo (De la Torre, 2022).

Aunque la política actual está enfocada en el coche eléctrico, los estudios dicen que es inviable una ampliación a medio plazo de la red eléctrica para abastecer a un parque móvil predominantemente eléctrico (De la Torre, 2022).

Cambios tecnológicos, innovación y seguridad en la industria

Reactores antiguos

El continuo desarrollo de la tecnología ha dado lugar a que los antiguos reactores en funcionamiento sean viables a largo plazo y por tiempo indefinido.

Cabe destacar como ejemplo de seguridad la mejora tecnológica de los elementos o barras de control del reactor, tradicionalmente llamadas “barras de enfriamiento de grafito”. La innovación en estos elementos hace posible frenar la fisión e incluso parar los reactores en tiempo récord (Planas, 2020).

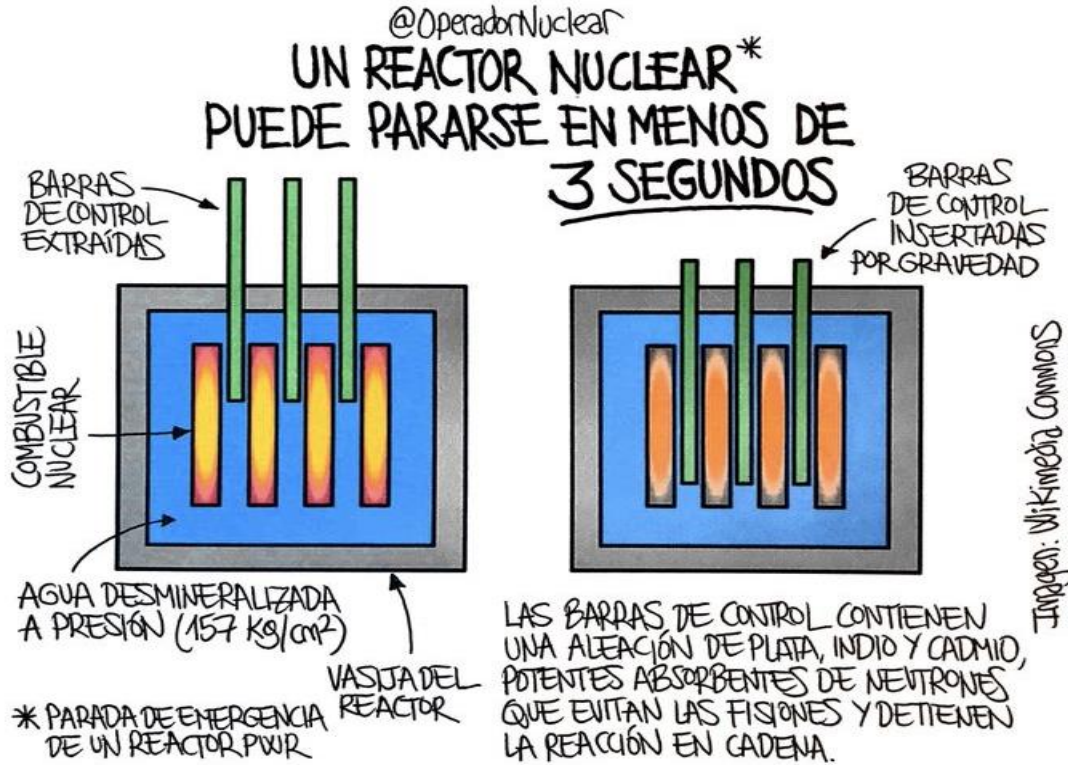


Figura 13 Explicación del paro de un reactor nuclear. Fuente: (García, 2023).

Combustible MOX

El combustible Mezcla de Óxidos (MOX) es un tipo de combustible utilizado en algunos reactores nucleares de fisión compuesto por una mezcla de óxido de uranio natural, uranio reprocesado o uranio empobrecido y óxido de plutonio. La proporción de plutonio en este combustible varía de un 3 % a un 10 %. Es fabricado a partir del reciclado de los residuos nucleares actualmente almacenados tanto de los restos del funcionamiento de los reactores más antiguos, como los restos de los elementos radiactivos usados en procesos y máquinas del sector sanitario. Incluso el uranio empobrecido desechado en las primeras fases de fabricación del combustible tradicional puede ser reutilizado para la fabricación de MOX (Foro Nuclear, 2022b).

Se considera eficiente la reutilización del U-235 remanente y del Pu-239 generado en el ciclo convencional para la elaboración de MOX porque la mezcla conserva más del 90% de su capacidad energética inicial, permitiendo su uso en un tipo de centrales nucleares diseñadas específicamente para el consumo de este combustible (Foro Nuclear, 2022b).

La opción en la que se reutiliza y recicla el combustible usado se conoce como ciclo cerrado, y es una de las alternativas posibles en la segunda parte del ciclo del combustible nuclear. Además, contribuye con el concepto de economía circular (Foro Nuclear, 2022b).

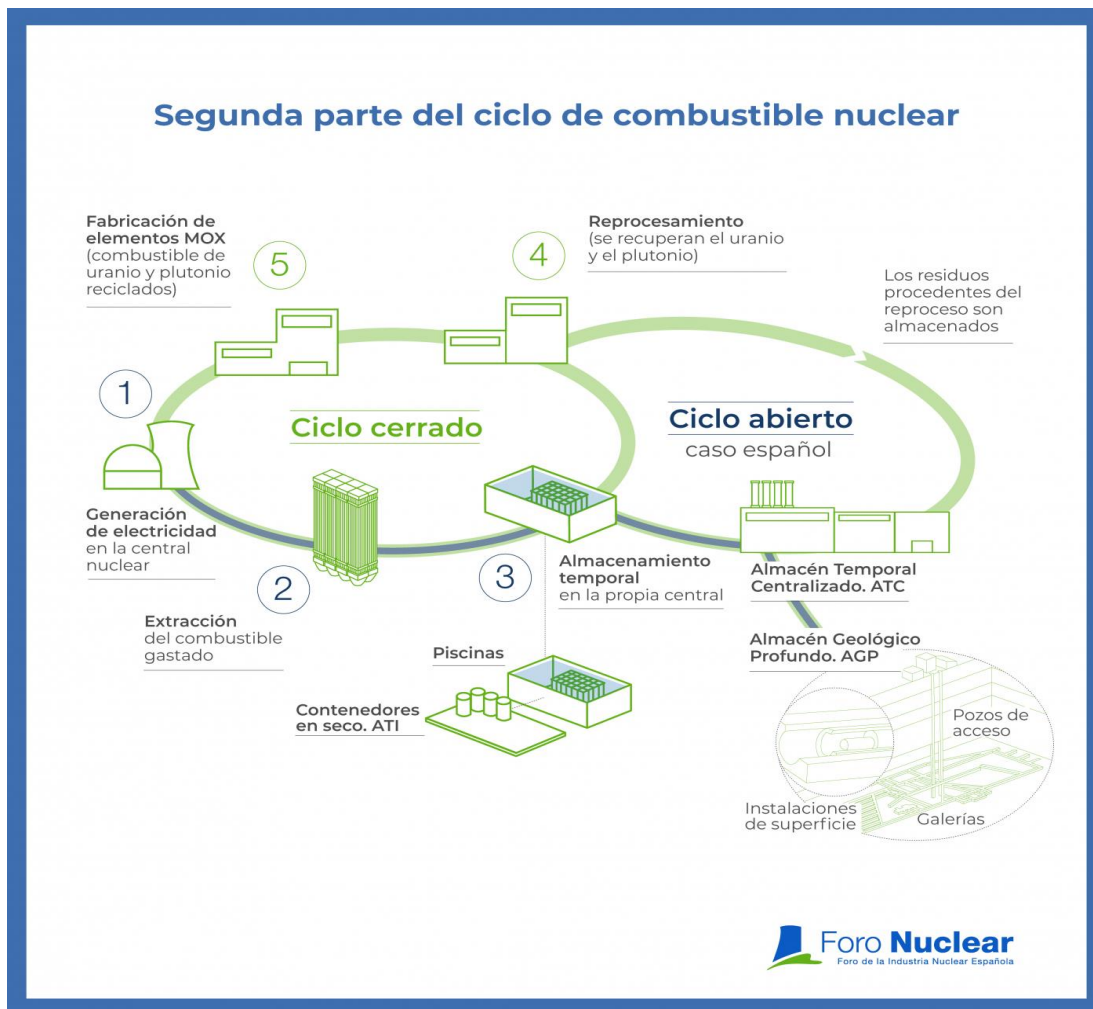


Figura 14 Ciclo cerrado de reutilización de residuos radiactivos. Fuente: (Foro Nuclear, 2022b).

El combustible MOX representa aproximadamente un 5% del combustible nuclear nuevo que se utiliza actualmente. Desde que se utilizara por primera vez en un reactor alemán en 1972, el combustible MOX ha alimentado a 44 reactores en todo el mundo en los siguientes países: Francia, Alemania, Japón, Suiza, Bélgica, Países Bajos y Estados Unidos (Foro Nuclear, 2022b).

El combustible MOX se comporta de forma similar a la del de uranio de bajo enriquecimiento para el que se diseñaron la mayoría de los reactores de agua ligera hoy en operación en el mundo, tanto de agua a presión (PWR) como de agua en ebullición (BWR) (Foro Nuclear, 2022b).

Una de sus ventajas es que puede utilizarse para eliminar parte del plutonio procedente de programas militares, eliminando la necesidad de su almacenamiento y contribuyendo a la no proliferación (Foro Nuclear, 2022b).

En 2007 EEUU y Rusia cerraron un acuerdo y comenzaron a reprocesar material procedente de armamento nuclear para su transformación en elementos combustibles MOX. EEUU elimina a razón de 3,5 t/año de Plutonio y Rusia está transformando hasta 34 toneladas de este material que mantenía almacenado con fines bélicos (World Nuclear Association, 2020a).

Además, la fabricación y uso de este combustible en reactores de IV generación reducen significativamente el volumen de residuos tanto de nueva fabricación como el volumen de los residuos almacenados (Foro Nuclear, 2022b).

La toxicidad de los residuos resultantes se reduce drásticamente tanto temporal como potencialmente. En un futuro, el combustible MOX permitirá a los países que producen energía nuclear gestionar sus inventarios de plutonio y abastecer a un número cada vez más elevado de reactores (Foro Nuclear, 2022b).

Son varios los países productores de este tipo de combustible, cuya producción se ve aumentada exponencialmente al ritmo de un gran desarrollo y avances en los reactores capaces de consumirlo (World Nuclear Association, 2020a).

TABLA 3. PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE MOX (T/AÑO). FUENTE: (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2020A)

	2017	2020
Francia, Melox	195	195
Japón, Tokai	10	10
Japón, J-MOX Rokkasho	0	140
Rusia, MCC Zheleznogorsk	60	60
Total	265	405

La empresa rusa Rosatom, puso en funcionamiento en 2014 el BN-800, el primer reactor de IV generación del mundo. Tras 6 años de pruebas de funcionamiento y seguridad, en 2020 el reactor recibió una carga de combustible haciéndolo funcionar al 100% con combustible reciclado MOX, consiguiendo un rotundo éxito en el cierre del ciclo de combustible (World Nuclear News, 2021).



Figura 15. Reactor de IV generación BN-800. Fuente: (Rosatom, 2020)

Reactores SMR

Los reactores nucleares modulares pequeños (SMR) son un tipo de reactor de fisión nuclear, de un tamaño y potencia más pequeños que los reactores convencionales (hasta 300 MW(e) por unidad), inherentemente seguro y basado en sistemas de seguridad pasivos. Estos reactores serían fabricados en una factoría y, posteriormente transportados a un emplazamiento para su ensamblaje y puesta en funcionamiento, consiguiendo de este modo que la cadena de producción sea competitiva y reduciendo significativamente los tiempos de puesta en marcha (Tecnatom, 2019).

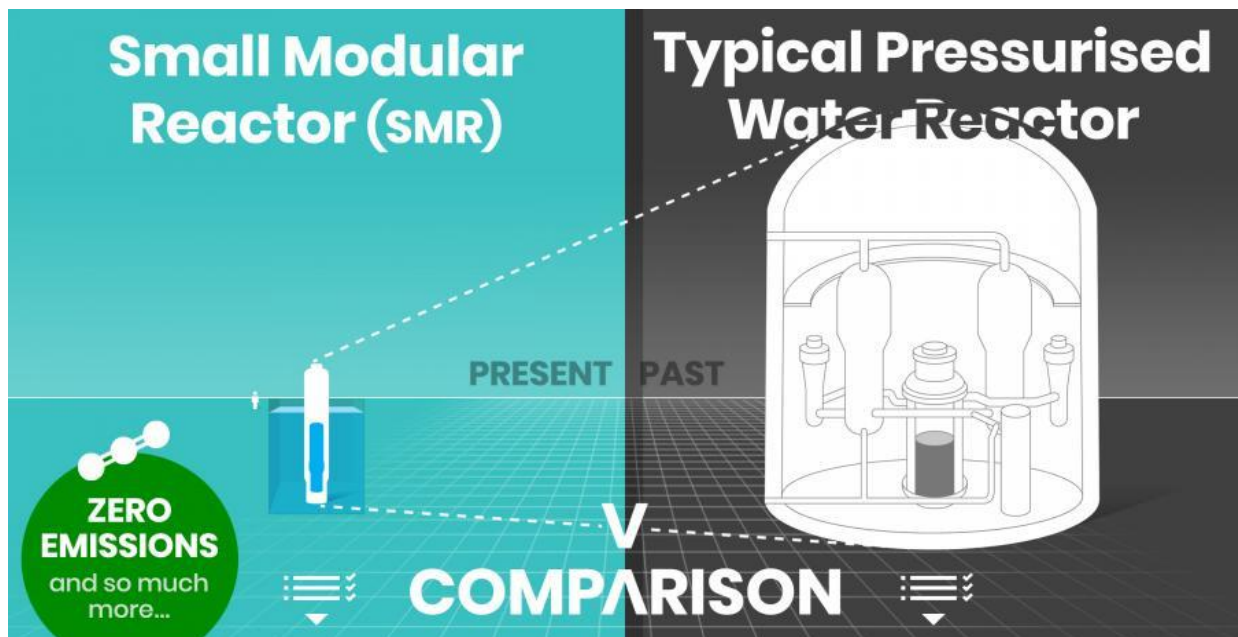


Figura 16 Comparación entre reactores convencionales y modulares. Fuente: (HO, 2021)

Actualmente, están en su fase final de desarrollo los reactores de cuarta generación, existiendo ya algunos en funcionamiento. Estos reactores son compactos y modulares, lo que permite que se puedan instalar casi en cualquier emplazamiento, cosa que era imposible con los de generaciones precedentes (Liou, 2021).

Pueden ser alimentados exclusivamente por combustible MOX, fabricado con residuos nucleares reciclados de las centrales más antiguas. Siendo capaz de sacar hasta 70 veces más energía de estos residuos (Liou, 2021).

Por sus características, pueden ser fabricados en serie y transportados posteriormente a su destino de funcionamiento. La fabricación en serie haría de éstos los más seguros jamás construidos, pues se podrían llevar a cabo unos controles de calidad nunca antes vistos eliminando defectos de diseño difíciles de detectar con el método de fabricación tradicional (Liou, 2021).

Por su tamaño y simplicidad, pueden ser instalados en emplazamientos como antiguas centrales térmicas, aprovechando las infraestructuras existentes. También pueden ser instalados para sustituir a los antiguos reactores pudiendo coexistir con el desmantelamiento de estos. Este aprovechamiento de infraestructuras acorta significativamente los tiempos de construcción (Locatelli et al., 2014).



Figura 17 Transporte de reactor SMR. Fuente: (Foro Nuclear, 2020).

Son modulares, pueden instalarse en serie cuantos fueran necesarios lo que les permite adaptarse a la demanda con facilidad y su coste es reducido, un tercio del coste de un reactor de las anteriores generaciones (Liou, 2021).

Su seguridad y tamaño hacen posible que puedan ser instalados incluso bajo las mismas ciudades a las que pueden abastecer (Liou, 2021).

Westinghouse está ultimando el desarrollo del reactor de agua a presión SMR AP300, basado en el exitoso diseño de su reactor AP1000 Gen III+. Partiendo así de millones de horas de desarrollo previo y de una gran experiencia que le garantiza un éxito en todos los niveles del diseño. Consiguiendo un producto versátil para producción de hidrógeno, desalinización de agua, cogeneración o cualquier proceso que necesite calor o electricidad (Westinghouse, 2023a).

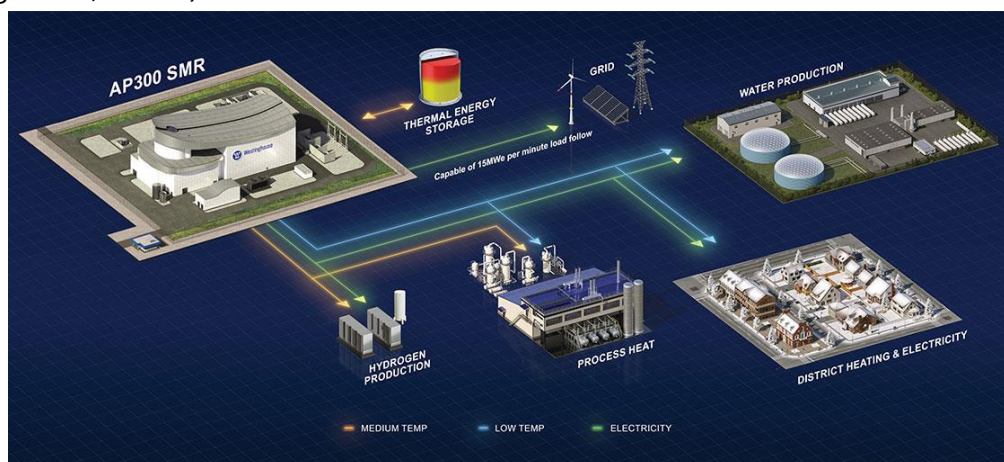


Figura 18. Aplicaciones para el reactor AP-300 SMR. Fuente: (Westinghouse, 2023b)

Rolls-Royce recibió en 2021 una inversión de un consorcio empresarial al cual se sumó el gobierno británico duplicando dicha inversión inicial para el desarrollo de la industria nuclear de reactores SMR. En concreto ha recibido el encargo de 5 SMR para asentar las bases de la industria y así poder crear una red nacional de hasta 16 reactores SMR aprovechando sus ventajosas posibilidades de producción en serie y todas las ventajas de seguridad y económicas que esto conlleva (Ambrose, 2021).

Una única central eléctrica Rolls-Royce SMR de 470MWe ocupará el espacio de dos campos de fútbol, aproximadamente una décima parte del tamaño de un sitio de generación nuclear convencional, lo que ayudará a reducir los impactos ambientales locales. El Rolls-Royce SMR se fabricará en fábrica, lo que permitirá que los módulos completos se transporten por camión, tren o barcaza, lo que reduce los movimientos de los vehículos y el riesgo de finalización y aumenta la certeza del tiempo de construcción (Rolls-Royce, 2022).



Figura 19. Diseño exterior del reactor SMR de Rolls-Royce. Fuente: (Rolls-Royce, 2022)

Reactores de sales fundidas (MSR)

La tecnología de reactores de sales fundidas (MSR) es una de las categorías de reactores pequeños modulares (SMR) identificada por el OIEA. Específicamente, los MSR usan sales fundidas como combustible nuclear y refrigerante primario, mezclados ambos en muchos diseños, para producir y transportar calor a los lazos secundarios o directamente a las plantas de generación de vapor para producción eléctrica (Larrosa Peruga, 2020).



Figura 20. Diseño exterior del reactor SSR-W de la empresa española IDOM. Fuente: (Larrosa Peruga, 2020)

Estos reactores pueden desempeñar un papel clave en los futuros sistemas de energía nuclear al ofrecer importantes ventajas en seguridad y eficiencia. La investigación avanzada, el desarrollo de tecnología y la concesión de licencias en varios países pueden hacer posible el despliegue a corto plazo de esta tecnología innovadora (Fisher, 2020).

Los MSR funcionan según el mismo principio básico que los reactores de energía nuclear actuales: fisión controlada para producir vapor que alimenta las turbinas generadoras de electricidad. Pero tienen una diferencia fundamental: las sales fundidas juegan un papel clave en el núcleo del reactor, incluso como refrigerante en lugar del agua que utilizan la mayoría de los reactores en funcionamiento actualmente. Y en lugar de barras de combustible, la mayoría de los diseños de MSR involucran combustible nuclear disuelto en el refrigerante (Fisher, 2020).

Su refrigeración mediante sales fundidas, permiten su instalación en zonas áridas, necesitando agua solamente para el generador de vapor (Zhang et al., 2018).

Estas características brindan beneficios que incluyen una eficiencia significativamente mejorada. Seguimiento de carga, lo que los hace ideales para actuar como respaldo de las energías renovables de bajo factor de disponibilidad. Su capacidad de operar a altas temperaturas los hace adecuados para aplicaciones no eléctricas que requieren un alto aporte de calor (Fisher, 2020).

Se consideran prácticamente “incineradoras de residuos nucleares”. Existen diseños de MSR alimentados con combustible reciclado siendo capaces de extraer más del 95% de la energía de este combustible cuando un reactor tradicional apenas extrae el 5%.

No se necesita enriquecer el uranio para la fabricación de combustible. Además, el consumo casi total de los actínidos en el reactor, impiden la producción de subproductos con fines bélicos.

En comparación con los reactores de combustible sólido, se afirma que los sistemas MSR con sal de combustible circulante tienen inventarios fisionables más bajos, sin restricciones de daño por radiación en el quemado del combustible, sin requisitos para fabricar y manipular combustible sólido o combustible sólido usado, y una composición isotópica homogénea. de combustible en el reactor. Los actínidos se forman con menos facilidad a partir del U-233 que en el combustible con una masa atómica superior a 235. Estas y otras características pueden permitir que los MSR tengan capacidades únicas y una economía competitiva para quemar actínidos y ampliar los recursos de combustible. La seguridad es alta debido a la refrigeración pasiva hasta cualquier tamaño. Además, varios diseños tienen tapones de congelación para que, si se alcanzan temperaturas excesivas, la sal primaria se drene por gravedad lejos del moderador en tanques de descarga configurados para evitar la criticidad (World Nuclear Association, 2021).

Actualmente, los reactores nucleares utilizan alrededor de 100 a 200 toneladas de uranio cada año. 10.000 a 20.000 kg de uranio por mil millones de kWh. De 200 a 400 veces más uranio que el que utiliza el diseño francés MSR. El MSR, al extraer más del 95% de energía del combustible, puede generar 1000 veces menos desechos de uranio y plutonio y todo lo demás que sobra tiene una vida media de menos de 50 años (World Nuclear Association, 2021).

Existen tres variantes de reactores MSR: el SSR-W (Stable Salt Reactor – Wasteburner); el SSR-U (alimentado con uranio); y el SSR-Th (torio).

Stable Salt Reactor - Wasteburner

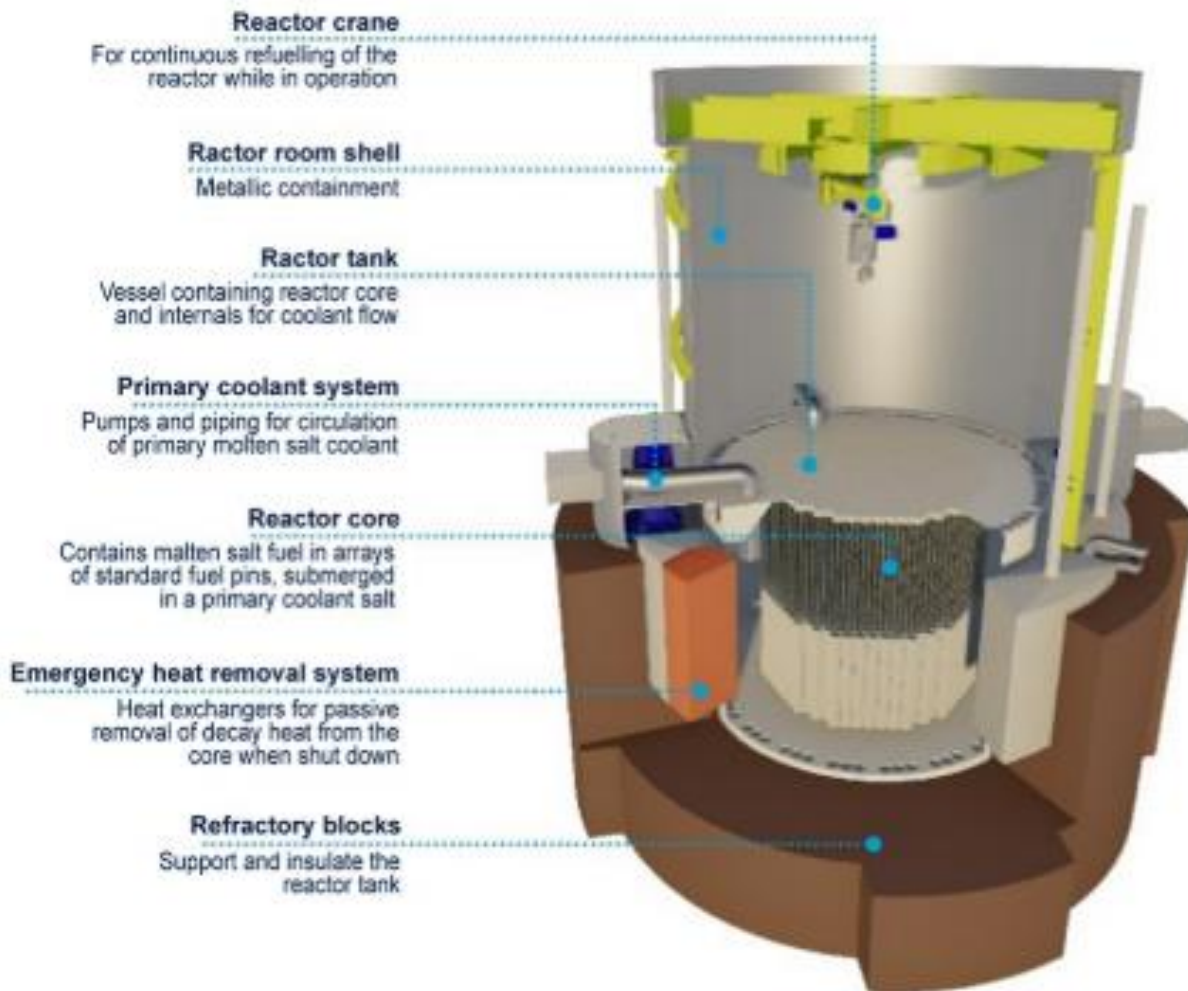


Figura 21. Diseño del reactor SSR-W "Incinerador de residuos" de la empresa española IDOM.

Fuente: (Larrosa Peruga, 2020)

Como ejemplo de su bajísimo consumo de combustible está la variante francesa de reproducción automática, que reclama 50 kg de torio y 50 kg de U-238 por billón(UK) de kWh, frente al mínimo conseguible hasta ahora de 10 toneladas de combustible con uranio enriquecido por billón(UK) de kWh, una relación 200:1 (World Nuclear Association, 2021).

Posibilidades económicas de los reactores de última generación

Según un análisis económico contrastando de costes de los reactores PWR gen III+ vs IMSR gen IV (Samalova et al., 2017). Se obtienen unos datos muy interesantes de estimación sobre el LUEC (acrónimo en inglés del “Costo Unitario Nivelado de Electricidad”).

En este estudio, se hace una comparativa de varios reactores de distintas tecnologías y potencias.

TABLA 4. TIPOS DE REACTORES, TENOLOGÍA Y POTENCIA. FUENTE: (SAMALOVA ET AL., 2017) Y ELABORACIÓN PROPIA.

Reactor	Generación tecnológica	Tipo	Potencia
AP-1000	III+	Agua presurizada	1000Mwe
IMSR-600	IV	Sales Fundidas	600Mwe
IMSR-300	IV	Sales Fundidas	300Mwe
IMSR-80	IV	Sales Fundidas	80MWe

El análisis de sensibilidad a la tasa de descuento se ejecutó para todos los casos. El escenario bajo se eligió como 3%, la base es 5% y el escenario alto 10% según el benchmark G4-ECONS PWR. Debe saberse que la tasa de descuento del 3% es un escenario optimista poco realista incluso para proyectos financiados por el gobierno. El rango de 5 a 10% se considera universalmente apropiado para grandes instalaciones de energía nuclear ([D'haeseleer, 2013]), lo que hace que la elección del 5 % como escenario base sea un supuesto optimista (Samalova et al., 2017)

TABLA 5. INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS EN LA TASA DE DESCUENTO EN LA ESTRUCTURA LUEC (\$/MWh). FUENTE: (SAMALOVA ET AL., 2017)

Component	Discount rate					
	3%		5%		10%	
<i>AP1000</i>						
Capital (Including 1st Core and Financing)	13.79	42.34%	20.79	52.80%	42.76	69.87%
Operations Cost	9.23	28.35%	9.23	23.44%	9.23	15.08%
Fuel Cycle – Front End	7.95	24.41%	7.95	20.19%	7.95	12.99%
Fuel Cycle – Back End	1.24	3.82%	1.24	3.16%	1.24	2.03%
D&D Sinking Fund	0.35	1.08%	0.16	0.41%	0.02	0.03%
Total Luec	32.56	100%	39.38	100%	61.20	100%
<i>IMSR600</i>						
Capital (Including 1st Core and Financing)	14.92	40.05%	21.92	49.67%	44.91	67.03%
Operations Cost	13.85	37.16%	13.85	31.37%	13.85	20.67%
Fuel Cycle – Front End	7.01	18.82%	7.01	15.89%	7.01	10.47%
Fuel Cycle – Back End	1.20	3.22%	1.20	2.72%	1.20	1.79%
D&D Sinking Fund	0.28	0.75%	0.15	0.34%	0.03	0.04%
Total Luec	37.26	100%	44.13	100%	67.00	100%
<i>IMSR300</i>						
Capital (Including 1st Core and Financing)	19.47	42.71%	28.60	52.41%	58.60	69.40%
Operations Cost	17.15	37.62%	17.15	31.43%	17.15	20.31%
Fuel Cycle – Front End	7.44	16.33%	7.44	13.64%	7.44	8.82%
Fuel Cycle – Back End	1.21	2.65%	1.21	2.21%	1.21	1.43%
D&D Sinking Fund	0.31	0.68%	0.17	0.31%	0.03	0.04%
Total Luec	45.59	100%	54.58	100%	84.44	100%
<i>IMSR80</i>						
Capital (Including 1st Core and Financing)	47.98	46.20%	70.48	55.91%	144.39	72.31%
Operations Cost	44.73	43.07%	44.73	35.49%	44.73	22.40%
Fuel Cycle – Front End	9.25	8.90%	9.25	7.34%	9.25	4.63%
Fuel Cycle – Back End	1.24	1.19%	1.24	0.98%	1.24	0.62%
D&D Sinking Fund	0.66	0.63%	0.35	0.28%	0.06	0.03%
Total Luec	103.85	100%	126.05	100%	199.67	100%

Este análisis deja claramente al descubierto que el factor más influyente en el LUEC son los tiempos de ejecución en la construcción y puesta en funcionamiento de la central.

Si se controlan estos tiempos y se consiguen incluso reducir respecto a las estimaciones del proyecto, se obtienen sin problemas costos de la electricidad bien por debajo de los 40 €/MWh. La clave del éxito reside en la producción en serie en el caso de los SMR o la estandarización y construcción multi-unidad en el caso de los grandes reactores (Nuclear Energy Agency, 2020).

El reciente proyecto de 4 unidades de Barakah en los Emiratos Árabes Unidos demuestra que tales reducciones de costos pueden ser aún mayores. Este proyecto implementó las mejores prácticas de construcción y contratación: un proyecto de referencia de unidades múltiples en el hogar, una cadena de suministro comprobada y una sólida gobernanza general del proyecto. Aún con algunos parones y la pandemia COVID de por medio, los costos cayeron más del 50% entre la primera y la cuarta unidad (Nuclear Energy Agency, 2020). En el costo del proyecto están incluidos toda la transferencia de conocimiento, el plan de seguridad y la formación del personal especializado (WANO, 2018).

Siendo más de 140 los estudios sobre la viabilidad y rentabilidad del reactor nuclear APR-1400 de origen surcoreano usado en el proyecto de Barakah, la media de los resultados según los múltiples escenarios analizados y teniendo en cuenta el éxito del proyecto multi-unidad emiratí, sitúa el LUEC por debajo de los 30 \$/MWh (Esmail & Cheong, 2021).



Figura 22. Central nuclear de Barakah, Emiratos Árabes Unidos. Fuente: (MEConstructionNews, 2022)

Uranio 238 procedente de ácido fosfórico, producción de combustible de sales fundidas y extracción de tierras raras.

Los depósitos de roca fosfórica contienen muchos millones de toneladas de uranio, que pueden extraerse como subproducto de la fabricación de fertilizantes (World Nuclear Association, 2020b), este mismo recurso es rico en las tan preciadas tierras raras (Emsbo et al., 2015).

La empresa Phosenergy ha perfeccionado un proceso de depuración de la roca fosfórica para la obtención de uranio. El estudio de prefactibilidad de 2015 estimó que una planta de fosfato de 0,44 Mt/año capaz de producir 155 tU/año operaría a \$21/lb U_3O_8 (World Nuclear Association, 2020b).



Figura 23. Planta de procesado de roca fosfórica Phosenergy. Fuente: (DevEX, 2021)

Aunque en pueda parecer caro comparado con el uranio procedente de minería, su utilización para la producción de combustible de sales fundidas, que no requiere el proceso de enriquecimiento, compensa de sobra su precio.

Utilizando el proceso de PhosEnergy, la planta de fosfatos ubicada en Huelva, con capacidad para transformar 440000 t/año de roca fosfórica (Fertiberia, 2022), se pueden extraer alrededor de 155 tU/año sin necesidad de minería para la fabricación de combustible de sales fundidas (World Nuclear Association, 2020b).

En el tratamiento de la roca fosfórica se necesitan hornos con temperaturas de más de 1300°C en el proceso de obtención de fósforo elemental por reducción .

Se necesitan 500-600°C en el proceso de obtención del ácido sulfúrico (Moeller & Winkler, 1968) que después se emplea en el proceso de tratamiento de roca fosfórica para de fabricación de ácido fosfórico por vía húmeda (Dpto. Ing. Química UPM, 2018).

La energía nuclear es ideal para estos procesos sin emisión de CO2 aumentando en rendimiento final. (Potencia térmica vs producto final)

Existen otros procesos que permiten la extracción simultánea de uranio y de tierras raras en el proceso por vía húmeda de extracción de ácido fosfórico. El alto precio de las tierras aumentaría la rentabilidad del proceso además de que su obtención por esta vía, evita el gran impacto ambiental que tiene el proceso por minería (Wu et al., 2018).

Si a todo esto sumamos que la energía representa el 90% de los costes de la industria de los fertilizantes (P.Tierra, 2022), la combinación de todos estos procesos con energía nuclear y cogeneración procedente de la misma obtiene resultados excelentes tanto ecológicos como económicos.

Hidrógeno verde

Casi el 95 % de la demanda actual de hidrógeno se satisface utilizando procesos productivos intensivos en carbono, como el reformado de metano con vapor. Esto es insostenible a la luz de la transición mundial a una energía limpia. Por estas razones, a fin de reducir el impacto ambiental de la producción anual de más de 70 megatoneladas de hidrógeno, algunos países dirigen la mirada a la energía nucleoelectrónica (Fisher M., 2020).

Los reactores nucleares pueden combinarse con una planta de producción de hidrógeno para obtener de modo eficiente energía e hidrógeno en un sistema de cogeneración mediante la equipación de componentes para la electrólisis o procesos termoquímicos utilizados para la producción de hidrógeno (Fisher M., 2020).

La electrólisis es el proceso utilizado para la producción de hidrógeno. Consiste en inducir la división de las moléculas de agua mediante una corriente eléctrica directa para producir hidrógeno y oxígeno. La electrólisis del agua tiene lugar a temperaturas relativamente bajas de alrededor de 80 °C a 120 °C, mientras que la electrólisis del vapor ocurre a temperaturas mucho más elevadas, por lo que es más eficiente (Fisher M., 2020).

Como la electrólisis del vapor es el proceso más eficiente, podría ser ideal para la integración con centrales nucleares avanzadas de alta temperatura, ya que el proceso requiere una aportación de calor de alrededor de 600 °C a 750 °C y los reactores nucleares avanzados son capaces de funcionar en estos rangos de temperaturas elevadas pudiendo aprovechar el calor generado para destinarlo al proceso de producción de hidrógeno (Fisher M., 2020).

Además, es posible mantener los reactores en un régimen óptimo y continuo de funcionamiento derivando la energía a la producción de H₂ verde cuando baja la demanda de la red de distribución. De esta forma se puede optimizar al máximo el rendimiento de las centrales y conseguir los objetivos de eficiencia energética (Fisher M., 2020).

El acoplamiento de electrólisis de alta temperatura o un ciclo termoquímico a un reactor nuclear de alta temperatura proporcionará el calor necesario sin producir emisiones de gases de efecto invernadero. Los reactores de IV generación son ideales para acoplar a una planta de producción de hidrógeno (HPP) debido a su seguridad inherente y temperaturas muy altas. Tanto el VHTR como el GFR alcanzan temperaturas de más de 800°C, lo suficientemente altas para usarse con los ciclos SI o HyS (Elder & Allen, 2009).

TABLA 6. TEMPERATURA DE SALIDA DE ALGUNOS TIPOS DE REACTORES NUCLEARES. FUENTE: (ELDER & ALLEN, 2009)

Tipo	Reactor	Acrónimo	Temperatura de salida (°C)
Térmico	Reactor de muy alta temperatura	VHTR	>1000
	Reactor de agua supercrítica	SCWR	550
	Reactor de sales fundidas	MSR	700
Rápido	Reactor rápido refrigerado por gas	TFG	850
	Reactor rápido refrigerado por sodio	SFR	550
	Reactor rápido refrigerado por plomo	LFR	550 hasta 800

TABLA 7. COMPARATIVA DE EFICIENCIA TÉRMICA-HIDRÓGENO. FUENTE: (ELDER & ALLEN, 2009)

Proceso	Reactor nuclear	Rango de operación			
		Mínimo		Máximo	
		temperatura (°C)	Eficiencia	temperatura (°C)	Eficiencia
HTE	AGR + S CO ₂	650	0.52	750	0.56
HTE	FCM + GT	850	0.50	950	0,53
HyS	FCM	800	0,53	900	0.57
SI	FCM	800	0.38	900	0.52

En producción eléctrica, el rendimiento de los reactores nucleares alcanza poco más del 30%. Aprovechando el calor para este proceso vemos cómo el rendimiento aumenta significativamente hasta alcanzar más del 55% en algunos casos, lo que supone un aumento de eficiencia de más del 70%.

Existen muchos tipos de grupos de propulsión de vehículos en funcionamiento y otros tantos en desarrollo capaces de hacer viable un parque móvil impulsado por H₂ (Díaz, 2022).



Figura 24 Arte conceptual de los vehículos impulsados por hidrógeno verde

Se puede hacer una transición ecológica y económica, ya que los vehículos impulsados por hidrocarburos pueden ser adaptados en un modo sencillo alargando así su vida útil y optimizando los recursos disponibles en una transición a vehículos específicamente diseñados para consumir H₂. Esto es gracias a los avances de grupos de investigadores que han encontrado la manera de convertir los diésel en vehículos ecológicos usando hidrógeno en un 90% y reduciendo la emisión de CO₂ en un 85% (Liu et al., 2022).

A nivel mundial, sólo asumiendo la producción actual de hidrógeno por medio de energía nuclear supondría la eliminación de más de 500 megatoneladas anuales de emisiones de dióxido de carbono de acuerdo con afirmaciones de Ibrahim Khamis, ingeniero nuclear superior del OIEA (2020) (Fisher M., 2020).



Figura 25 Imagen del motor diésel modificado para consumir un 90% de hidrógeno. Fuente: (Fisher M., 2020).

Combustible sintético

En los últimos años se han desarrollado combustibles sintéticos para sustituir a los hidrocarburos. El desafío actual es reducir los costes para hacer viable un sistema de producción y así poder comercializarlos a gran escala (Ridjan et al., 2014).



Figura 26. Planta de producción de combustible sintético Haru Oni de Porsche en Chile. Fuente: (Porsche, 2022)

El proceso más popular consiste en la fabricación de metanol a partir de extracción de H_2 y la captura de CO_2 del ambiente. Para que todo este proceso sea rentable se necesita una producción optimizada continua a gran escala (Harpreet Singh et al., 2022).

Las plantas de fabricación de combustible, a su vez obtienen subproductos como etanol o amoníaco, también valorados en la industria. Los procesos llevados a cabo para la captura de CO_2 necesitan de altas temperaturas y presiones que alcanzan los 50 bares (Harpreet Singh et al., 2022).

Todo de fabricación del llamado e-fuel, consiste en una cadena procesos cuya rentabilidad reside en la aplicación de economías de escala. La parte más determinante en el precio final es el costo de la extracción de hidrógeno. (Harpreet Singh et al., 2022).

La integración de todos los procesos en una misma planta alimentada por energía nuclear, aumentaría el rendimiento del reactor hasta pasar el 60%. Consiguiendo así reducir los costos de todo el proceso como ningún otro tipo de energía y sin ningún tipo de emisiones (Harpreet Singh et al., 2022).

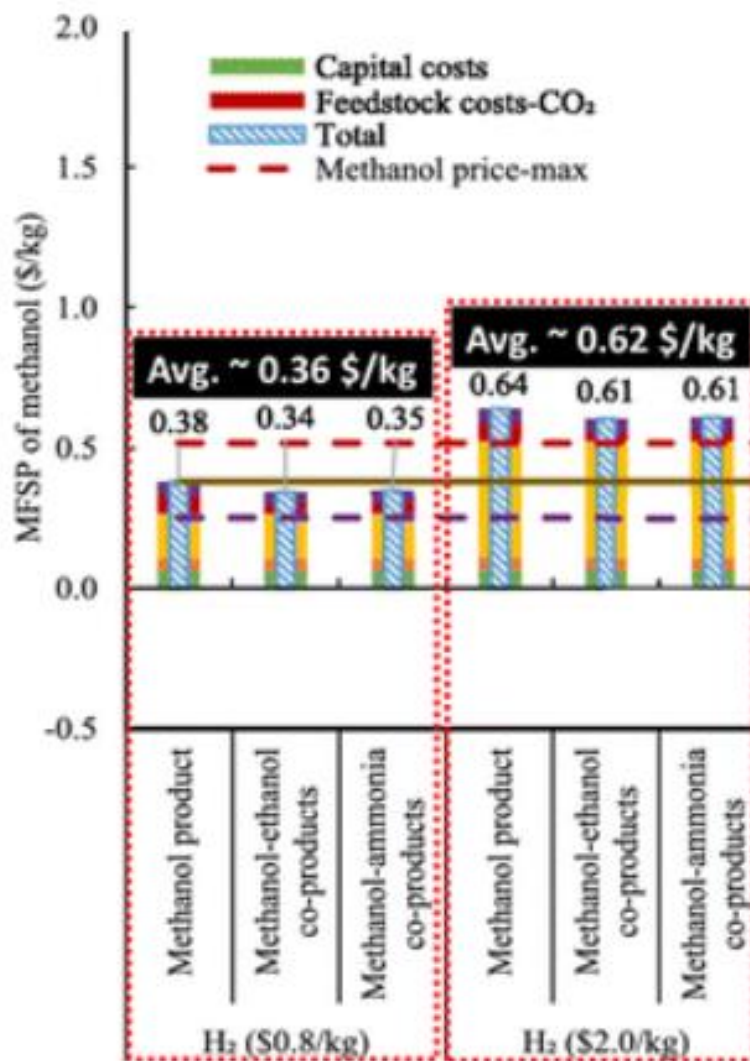


Figura 27. Precio del metanol en base al coste del H2. Fuente: (Harpreet Singh et al., 2022)

Producción de agua desalinizada

La energía supone entre el 40% y el 60% en la estructura de costes de la producción de agua desalinizada según el tipo de proceso.

TABLA 8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTES DE DESALACIÓN POR TIPO DE AGUA Y TECNOLOGÍA.
FUENTE: MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ NIETO, CATEDRÁTICO EN TECNOLOGÍAS DEL MEDIO AMBIENTE, DEPTO. INGENIERÍA CIVIL, UGR.

Agua de Mar

	MSF	CV	RO
Energía	0,61-0,63	0,56-0,61	0,35-0,38
Personal	0,036-0,042	0,06-0,09	0,04-0,1
Reactivos	0,04-0,05	0,02-0,04	0,04-0,07
Membranas	0	0	0,02-0,05
Limpiezas Químicas	0,001-0,002	0,001-0,002	0,001-0,002
Mantenimiento	0,02-0,04	0,02-0,04	0,02-0,04
Total Explotación	0,71-0,75	0,67-0,78	0,46-0,64
Amortización	0,38-0,40	0,40-0,42	0,34-0,35
Coste Total	1,09-1,15	1,08-1,20	0,8-0,99

Agua Salobre

	ED	RO
Energía	0,12-0,22	0,12-0,22
Personal	0,04-0,1	0,04-0,1
Reactivos	0,006-0,009	0,02-0,04
Membranas	0,006-0,012	0,01-0,02
Limpiezas Químicas	0,0006-0,001	0,001-0,002
Mantenimiento	0,006-0,012	0,02-0,04
Total Explotación	0,17-0,36	0,2-0,4
Amortización	0,07-0,11	0,07-0,09
Coste Total	0,25-0,46	0,27-0,49

MSF: Destilación multietapa

CV: Destilación por compresión de vapor

RO: Ósmosis Inversa

ED: Electrodialisis

Una planta desalinizadora alimentada con energía nuclear, permite combinar varios métodos de desalinización, optimizando la desalinización y procesos de esterilización, se consigue agua de mayor calidad usando menos consumibles químicos. Es una tarea perfecta para los reactores SMR, reduciendo significativamente los costes en la producción a gran escala (Khamis & El-Emam, 2016). También permite integrar la depuración de aguas residuales de grandes territorios abaratando los costes a las ciudades y realizando todos los procesos en un entorno mucho más controlado y respetuoso con el medio ambiente.

Existen procesos a altas temperaturas para el tratamiento de aguas residuales industriales (Pliego et al., 2012), que se vuelven muy rentables al realizarlos con energía nuclear.

La utilización de toda esta agua para consumo humano y regadíos supondría dejar disponible un alto porcentaje del agua de los acuíferos naturales para el ecosistema.

Un sistema fluvial equilibrado hace que crezcan exponencialmente los niveles de agua salobre disponible para desalar. Aumentando el porcentaje de agua salobre en el sistema híbrido disminuyen los costes significativamente.

Seguridad con inteligencia artificial y blockchain

La Inteligencia Artificial (IA), se puede emplear para crear simulaciones de instalaciones nucleares, optimizar procedimientos, diseños, rendimiento, seguridad y más en torno al reactor o las necesidades de la planta, que también daría como resultado optimización y eficiencia en las operaciones y reducciones de costo en el mantenimiento (SAP News Center, 2022).

Con los innovadores sistemas y protocolos de seguridad actuales es posible hacer funcionar cualquier proceso con niveles muy superiores a los vistos hasta ahora y mediante un análisis de datos proporcionado por la Inteligencia Artificial, se pueden detectar amenazas, anomalías y cosas que podrían indicar un peligro a la seguridad de la instalación nuclear (SAP News Center, 2022).

La utilización de sistemas automatizados hace posible ante cualquier emergencia la parada completa de una central en pocos segundos sin intervención humana (World Energy Trade, 2021).

El empleo de Inteligencia Artificial en la fabricación e inspección de barras de combustible consiguen calidad y estabilidad del producto que no era posible realizándose del modo tradicional (World Energy Trade, 2021).

La IA también puede ayudar a reducir los costes de explotación relacionados con el combustible, el desmantelamiento y la eliminación de residuos, así como a reducir los costes de ingeniería, fabricación y construcción de plantas (World Energy Trade, 2021).

Además, la IA se puede aplicar en el área del análisis predictivo industrial para el mantenimiento con la creación de gemelos digitales mejorados que pueden proporcionar valiosas perspectivas basadas en los datos recopilados para mejorar y optimizar las operaciones a tal punto que se puede predecir cómo puede funcionar el turbogenerador de forma incorrecta y hacer una parada planificada antes, utilizando un tiempo de reparación más corto (World Energy Trade, 2021).

La aparición de nuevas tecnologías para la gestión de procesos presenta una oportunidad de aplicación dentro del sector industrial de energía nuclear. Este es el caso de la tecnología Blockchain, la cual está basada en una cadena de bloques de operaciones descentralizada y pública. Esta tecnología genera una base de datos compartida a la que tienen acceso sus participantes, los cuáles pueden rastrear cada transacción que hayan realizado en cualquier etapa del proceso de producción (Sáez Hurtado, 2022).

La implantación de un sistema de trazabilidad basado en tecnología blockchain permite un registro y seguimiento de toda la vida del proceso sin existir posibilidad de manipulación externa (Sáez Hurtado, 2022).

Otros sectores como el farmacéutico han implantado ya esta tecnología con gran éxito. Este es el caso de la asociación entre VeChain y Bayer China, los cuales trabajan conjuntamente en el desarrollo de una plataforma con CSecure impulsado por un blockchain público para la trazabilidad de ensayos clínicos para medicamentos (Ramírez, 2020).

3.1.5. Dimensión Ecológica

Taxonomía “Verde” de Energías Sostenibles de la Unión Europea

La catalogación como “energía verde” por parte de la UE es favorable al desarrollo del sector. Al incluir a la energía nuclear y el gas dentro de la taxonomía verde de la Unión Europea, estas fuentes de energía pasan a ser catalogadas como sostenibles y podrán beneficiarse de las inversiones del bloque en su lucha contra el cambio climático. La inclusión dentro de la clasificación de inversiones sostenibles para estas dos fuentes entrará en vigor en 2023 (Euronews, 2022a).

Conciencia Medio Ambiental

A día de hoy, los ciudadanos se ven más implicados en el cambio de su modo de vida a uno que sea más sostenible. Esto se debe a la creciente preocupación por los problemas ambientales causados por el uso de fuentes energéticas contaminantes y el creciente consumo de recursos (González, 2021).

Según refleja la tercera encuesta sobre el clima (2020-2021) realizada por el Banco Europeo de Inversiones (BEI), el mayor prestamista para proyectos climáticos de la UE, el grado de implicación de los ciudadanos españoles en la lucha contra la crisis climática es similar al de la media de ciudadanos europeos, pero también a la de estadounidenses y chinos (González, 2021).

La encuesta concluye que mientras apenas una cuarta parte (24%) de los españoles ya está acometiendo “cambios radicales” en su estilo de vida, el 80% de la población es consciente de que su contribución es imprescindible para atajar la emergencia climática. Un porcentaje que sitúa la conciencia de los españoles en la cuestión ocho puntos porcentuales por encima de la media de la UE (González, 2021).

Sin embargo, pese a reconocer el problema, el 58% admite que hace escasos esfuerzos contra el calentamiento global. Por ende, aunque los ciudadanos son plenamente conscientes de que su comportamiento individual puede suponer una diferencia, es necesario acelerar la puesta en marcha de acciones que cambien los hábitos de la población hacia un comportamiento sostenible (González, 2021).

Postura de Grupos Ecologistas

Los sistemas de seguridad, y el desarrollo del combustible MOX con el que se reducen significativamente los residuos actualmente almacenados pueden cambiar la postura de las grandes organizaciones ecologistas (Ethic, 2018).

Algunas asociaciones emergentes de científicos y ecologistas son de gran apoyo haciendo una gran función como divulgadores científicos a través de la organización de puestos de información pública, lanzamientos de pancartas y otros eventos de activistas climáticos en donde se unen para ayudar a educar a las personas sobre las soluciones al cambio climático, con un enfoque en la energía limpia (Ethic, 2018).



Figura 28 Logos de algunas de las asociaciones ecologistas a favor de la energía nuclear. Fuente: Sus respectivos sitios webs

Economía Circular

En la actualidad, se lleva a cabo la transición de un modelo de economía lineal o un modelo de economía circular. La economía circular es un nuevo modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende (Parlamento Europeo, 2022).

La economía circular, implica el cambio de pensamiento de “residuos” a “subproductos” de forma que cuando un producto llega al final de su vida, sus materiales se mantienen dentro de la economía siempre que sea posible para ser reutilizados y crear valor adicional (Parlamento Europeo, 2022).

La Comisión Europea ya lleva a cabo numerosos planes de acción sobre economía circular, en los que demanda medidas adicionales para avanzar hacia una economía neutra en carbono, sostenible, libre de tóxicos y completamente circular en 2050 (Parlamento Europeo, 2022).

La exigencia de implantación de economías circulares se ve también cumplida con la utilización del combustible reciclado y la producción de H₂ verde (Parlamento Europeo, 2022).

Compromisos medioambientales internacionales: Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible

Con el conocimiento de las conclusiones del informe Climate Change 2021 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la Comisión Económica de Naciones Unidas para Europa considera que la nuclear debe formar parte del mix energético presente y futuro si se quiere alcanzar la descarbonización de la economía y la sociedad, junto con el cumplimiento de los objetivos fijados en el Acuerdo de París COP21 y en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Foro Nuclear, 2021b).

La Comisión Económica de las Naciones Unidas sostiene en un informe que no se llegará a estar cerca de los 2 °C de temperatura global con respecto a los niveles preindustriales marcados como límite en el Acuerdo de París si no se incluye la energía nuclear. Además, dicho informe defiende la posición de la energía nuclear como fuente de

energía sostenible puesto que en los últimos cincuenta años la energía nuclear ha evitado 74 gigatoneladas de dióxido de carbono adicionales, el equivalente a las emisiones globales de dos años de ese gas (Foro Nuclear, 2021b).

Los avances del sector en cuanto a seguridad y control de la gestión de residuos radiactivos y la búsqueda de lugares geológicamente estables a largo plazo para su almacenamiento proporcionan validez a la categorización de la energía nuclear como fuente de energía sostenible (Foro Nuclear, 2021b).

3.1.6. Dimensión Legal

Legislaciones y regulaciones vigentes

La ley más actual sobre temas energéticos es la “ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética”. Esta ley choca frontalmente con el desarrollo de la industria nuclear en España (Org. Agencias, 2021).

Dicha ley, pone fin a la posibilidad de nuevas autorizaciones de exploración o explotación de hidrocarburos, así como de minería de materiales radiactivos. En ella se establece que no se admitirán nuevas solicitudes para otorgar permisos de exploración, permisos de investigación o concesiones directas de explotación, ni sus prórrogas, regulados al amparo de la Ley 22/1973, de 21 de julio, de minas, de minerales radiactivos, tal y como se definen en la Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear, cuando tales recursos sean extraídos por sus propiedades radiactivas, fisionables o fértiles (Org. Agencias, 2021).

Además, añade que ya no se admitirán nuevas solicitudes para la autorización de instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear para procesar esos minerales radiactivos (Org. Agencias, 2021).

Cabe destacar que la ley también prohíbe los sondeos y prospecciones de combustibles fósiles como el fracking al no admitir a trámite la solicitud de concesión de autorización de explotación de hidrocarburos que no hubiese sido iniciada con anterioridad a la fecha de entrada en vigor de la Ley (Org. Agencias, 2021).

Otra ley que influye en el desarrollo del sector nuclear en España es la nueva Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. La Ley tiene por objeto sentar los principios de la economía circular a través de la legislación básica en materia de residuos, así como contribuir a la lucha contra el cambio climático y proteger el medio marino. Su aplicación contribuye a la creación y consolidación del empleo en el sector de la gestión de residuos en el ámbito de la preparación para la reutilización y el reciclado (BOE, 2022).

Finalmente, otra ley que afecta el desarrollo de la energía nuclear en España es la Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética. Esta ley establece los impuestos y tasas que el sector de la energía nuclear debe asumir, como la llamada "Tasa Enresa", la cual es un impuesto sobre la producción de combustible nuclear gastado (González Jiménez, 2021).

Sin embargo, las empresas que operan en el sector nuclear no solamente pagan las tasas ENRESA. Su carga tributaria incluye otra serie de gravámenes específicos que trasladan a las centrales los costes de financiación del Plan General de Residuos Radiactivos. En 2020, se ha incrementado un 19,2% la tarifa para la financiación de ENRESA, hasta los 7,98 euros/MWh. Esta tasa es aportada por las empresas operadoras de las centrales nucleares, con lo que se asegura la gestión del combustible y otros residuos radiactivos, así como el desmantelamiento futuro de estas centrales cuando alcancen el final de su vida operativa (González Jiménez, 2021).

A estos impuestos se añaden las tasas del Consejo de Seguridad Nuclear, la tasa por los servicios de seguridad permanente por la Guardia Civil en el interior de las centrales y las medidas fiscales para la sostenibilidad energética sobre la producción y almacenamiento en instalaciones centralizadas de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos resultantes de la generación de energía nucleoelectrónica.

La excesiva presión fiscal pone en riesgo la viabilidad económica de las centrales nucleares, que podrían ser incapaces de cubrir tanto sus costes fijos como los variables, además de las inversiones que requiere operar en condiciones de seguridad. Esto se ha podido verificar ya que en el ejercicio 2020 el parque nuclear ha funcionado con un flujo de caja negativo porque los ingresos de las centrales han sido insuficientes para cubrir sus costes operativos, impuestos y tasas (González Jiménez, 2021).

TABLA 9 CUADRO RESUMEN DEL ANÁLISIS PESTEL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



3.2. ANÁLISIS DAFO

3.2.1. Debilidades

Costosa inversión inicial

Tecnología muy especializada y costosa. La inversión inicial que se requiere es muy costosa y en el contexto actual el nivel de riesgo es muy alto por los planes de desmantelamiento nuclear. Una central requiere una inversión de unos 6000 millones de euros por GW instalado, de acuerdo con la información contrastada por Alfredo García, operador nuclear y divulgador científico (2022).

Falta de competencia

El oligopolio existente en el sistema eléctrico se extiende a esta industria dificultando la competencia.

Generación de Residuos Radiactivos peligrosos

Los residuos emitidos son potencialmente peligrosos y difíciles de tratar.

Aunque los sistemas actuales de seguridad son más eficientes que los de cualquier industria conocida, los residuos siguen teniendo un potencial peligro radiactivo y son difíciles de almacenar.

Dependencia externa de materia prima de uranio

Debido a la legislación actual, la industria depende del mercado exterior para abastecerse de combustible.

Actualmente, se importa el 100% del mineral de uranio utilizado en las centrales nucleares. Este factor aumenta la dependencia energética de España hacia países del exterior (González Navarro, 2006).

Centrales antiguas

El sistema de centrales actual aprovecha poca parte del combustible y genera muchos más residuos que las de última generación.

Potencia instalada

La red de centrales nucleares es solo el 6.31% de la capacidad neta instalada en el país, cifra muy baja comparada con la del país vecino Francia que llega hasta el 78% de su capacidad total.

3.2.2. Fortalezas

España es un productor importante de tecnología nuclear

Actualmente, España está en una posición tecnológica en la que aporta el 85% de la tecnología al diseño y construcción de una central nuclear (Foro Nuclear, 2021a).

Esto hace a España un importante exportador de tecnología al tiempo que es autosuficiente para gestionar una parte muy importante del sector (Foro Nuclear, 2021a).

La fábrica de elementos combustibles de Juzbado (Salamanca) está a la vanguardia de Europa y abarca todo el ciclo de producción del combustible. No solo produciendo si no en investigación, mejora de procesos y sistemas de producción y seguridad. Actualmente exporta más del 50% de su producción (Foro Nuclear, 2021a).

La sede en España de la estadounidense Westinghouse acaba de cumplir 50 años, siendo estratégica para la compañía en su mercado europeo. Cabe destacar que actualmente la compañía está presidida a nivel mundial por el español José Emeterio Gutiérrez, algo que en mayor o menor medida deja a España en una posición favorable a futuras conversaciones de colaboraciones e inversión (Foro Nuclear, 2021a).

La empresa IDOM está involucrada en el desarrollo de un reactor SMR de sales fundidas, posicionando ventajosamente a España en el sector (Larrosa Peruga, 2020).

Emplazamiento de las centrales

España goza de un territorio ideal para la implantación de todo tipo de estructuras de esta industria, siendo más del 80% de su territorio considerado de muy baja peligrosidad sísmica.

Las centrales nucleares en operación se encuentran en sitios estratégicos donde hay baja peligrosidad sísmica y cuentan con excelentes infraestructuras de comunicación para el aprovisionamiento de combustible.

En la siguiente figura se puede apreciar el mapa de peligrosidad sísmica de España que confirma la ventaja en cuanto a seguridad que poseen las centrales nucleares españolas.



Reservas de Uranio

España tiene importantes reservas de uranio localizadas y está a la espera de la prospección de diversos puntos del territorio.



Figura 30. Mina de uranio en Salamanca. Fuente: (El Mundo, 2023)

Garantía del suministro eléctrico

Las centrales nucleares españolas garantizan el suministro eléctrico las 24 horas todos los días del año. Son una fuente estable que opera en base, no dependiente de factores meteorológicos externos, ayudando así a la gestión y a la estabilidad del sistema eléctrico (Foro Nuclear, 2021a).

Independencia energética

Las centrales nucleares españolas contribuyen a reducir el alto grado de dependencia energética actual del país. Este pilar cobra importancia en la actualidad por la crisis energética derivada de la limitación del suministro de gas proveniente de Rusia (Sociedad Nuclear Española, 2022a).

Estabilidad de los precios de la electricidad

El uranio utilizado en las centrales nucleares españolas supone solo un 5% del coste total de producción de energía, por lo que oscilaciones en el comercio internacional de combustible no provocan efectos significativos en el coste (Sociedad Nuclear Española, 2020).

Alto Grado de Fiabilidad, eficiencia y Disponibilidad

Los indicadores de funcionamiento globales de las centrales nucleares españolas se encuentran históricamente por encima de los de la media mundial al presentar valores cercanos al 90%. Estos resultados dan fe de la seguridad y eficiencia que poseen los procesos de producción de energía ejecutados en la industria del sector (Foro Nuclear, 2022a).

Las centrales nucleares españolas están preparadas para operar a largo plazo, siempre con la autorización del Consejo de Seguridad Nuclear.

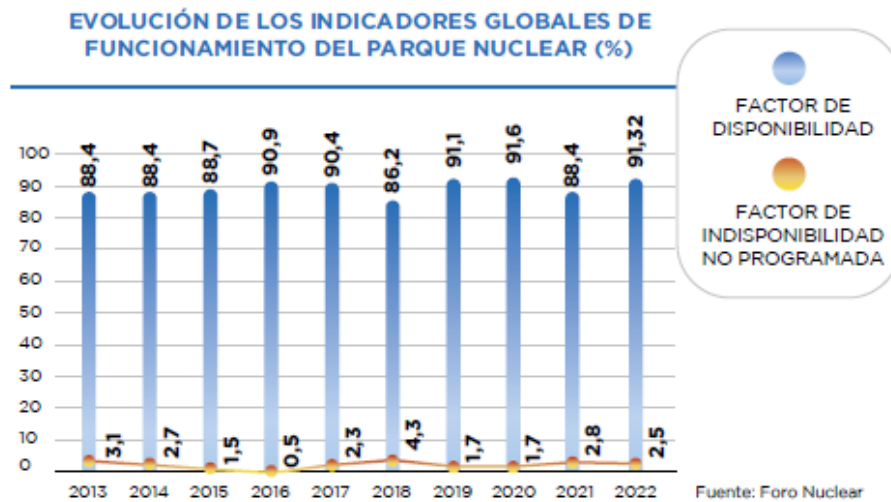


Figura 31. Factor de disponibilidad del parque nuclear español. Fuente: (Foro Nuclear, 2022a)

Fuente de Energía de emisiones reducidas

La energía nuclear es, en la actualidad, la fuente que más ayuda a evitar emisiones contaminantes a la atmósfera. En 2022, la producción eléctrica del parque nuclear español supuso el 31,75% de la electricidad libre de emisiones contaminantes generada en España subiendo más de un punto respecto al ejercicio anterior en pleno auge de las renovables. Esto indica que el factor de disponibilidad de la nuclear es determinante en la fortaleza de un sistema de producción libre de emisiones (Foro Nuclear, 2022a).

3.2.3. Oportunidades y Amenazas

Mediante una clasificación de los factores expuestos en el análisis PESTEL, se han recopilado las oportunidades y amenazas presentes en el sector de la industria nuclear en España.

Estas se resumen junto a las fortalezas y debilidades expuestas anteriormente en la siguiente matriz DAFO.

TABLA 10 MATRIZ DAFO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

D	A	F	O
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Coste de la inversión ✓ Falta de competencia por oligopolio ✓ Emisión de residuos peligrosos ✓ Residuos difíciles de tratar ✓ Dependencia externa materias primas ✓ Centrales antiguas ✓ Poca potencia instalada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ideología del gobierno ✓ Política energética nacional ✓ Política fiscal ✓ Política medioambiental ✓ Asociaciones ecologistas ✓ Legislación vigente ✓ Información sesgada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fiabilidad ✓ Eficiencia ✓ Disponibilidad ✓ Estabilidad de precios ✓ Independencia energética ✓ Garantía de suministro eléctrico ✓ Emplazamiento estratégico ✓ Industria capacitada, experta y tecnológica ✓ Energía muy baja en emisiones 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inflación ✓ Política europea ✓ Alianzas internacionales ✓ Inestabilidad de precios ✓ Dependencia energética ✓ Niveles de desempleo ✓ Incremento de la demanda energética ✓ Cambio de pensamiento ✓ Economía circular ✓ Nuevas tecnologías nucleares

4. Objetivos a conseguir

Se han establecido unos objetivos generales principales y una serie de objetivos específicos encaminados a la consecución de los resultados deseados con los programas propuestos en un posterior apartado.

Cada programa irá emparejado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible correspondientes.



Figura 32. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: (ONU, 2023)

4.1. Objetivo General de la Transición Ecológica y Descarbonización

Facilitar la transición ecológica y la descarbonización del sector energético español mediante el uso de la energía nuclear como instrumento para el suministro de electricidad estable, barata y verde; hasta que se alcance el cumplimiento de una España 100% renovable en el año 2050 con tecnologías maduras, viables y eficientes.

4.2. Objetivos Específicos

1)- Aumentar el porcentaje de aceptación social de la energía nuclear hasta un mínimo del 80% de la población española en un plazo de 3 años.

2)- Incrementar la potencia instalada de las centrales de energía nuclear mediante la construcción de nuevas instalaciones de última tecnología.

3)- Alcanzar la autosuficiencia energética.

4)- Reducir en un 40% el coste por MWh producido originado del pago de impuestos y tasas exclusivas del sector nuclear español.

5)- Reducir el precio de la electricidad y dar una base fuerte y estable al mercado energético.

6)- Aumentar la capacidad tecnológica de España hasta abarcar el 100% de proceso industrial nuclear.

7)- Permitir la prospección y minería para uso exclusivo de autoabastecimiento.

8)- Establecer alianzas estratégicas internacionales.

9)- Fomentar el H₂ creado con energía nuclear como energía alternativa con el fin reducir las emisiones de CO₂.

10)- Fomentar la producción de combustible sintético con energía nuclear y permitir su uso para alargar la vida del parque móvil de vehículos de combustión.

11)- Hacer de la industria nuclear un referente en seguridad y transparencia.

5. Políticas y medidas

5.1. Planes existentes

El plan actual consiste solamente en un plan de desmantelamiento paulatino antes de 2035 y un sistema asfixiante de impuestos exclusivos a este tipo de energía.

También, prohíbe la prospección y minería de uranio en todo el territorio nacional. La misma ley vigente afecta al gas natural, prohibiendo la prospección y extracción.

Estos programas se recogen dentro del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 y el 7º Plan General de Residuos Radiactivos.

El PNIEC persigue una reducción de un 23% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990. Este objetivo de reducción implica eliminar una de cada tres toneladas de gases de efecto invernadero que se emiten actualmente. Dicho plan persigue la descarbonización y la transición ecológica, pero, excluye a la energía nuclear como parte de ese proceso al establecer medidas de promoción de las energías renovables y el desmantelamiento de las centrales nucleares.

Por otro lado, el plan general de residuos radiactivos describe que la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A., S.M.E. (Enresa), es la entidad encargada de la gestión del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, así como del desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

5.2. Planes propuestos

5.2.1. Plan fiscal y financiación

Reforma de la ley reduciendo la presión fiscal que recibe este sector en exclusiva, equiparándolo a las energías renovables en cuanto a la aplicación de incentivos fiscales por gozar de condiciones de empleo de tecnologías descarbonizantes.

Establecer un régimen especial para la fiscalidad de la financiación de la industria nuclear, con el fin de reducir los costes y tiempos de amortización de capital.

Establecer un régimen que permita a la industria intensiva beneficiarse como inversores de la electricidad y cogeneración provenientes de la energía nuclear.

Creación de los Bonos Energéticos, un derivado de los Bonos del Estado, emitiendo estos en base a índices de creación de nuevas infraestructuras del sector nuclear.

Objetivos

Adaptar la fiscalidad a la nueva situación de economía circular en la que entrará la industria aplicando las nuevas tecnologías de reciclado de desechos como combustible, la fabricación de H₂ y combustible sintético incluyendo la energía nuclear en la misma situación de fiscalidad de las energías renovables.

Atraer inversores para impulsar el sector nuclear.

Atraer industria intensiva y fortalecer la existente facilitando el acceso a energía sostenible y económica.

Conseguir financiación a bajo coste para el nuevo sistema energético nacional.

ODS



Actores implicados

Ministerio de economía y hacienda

Ministerio de industria, comercio y turismo

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

Instituto de Crédito Oficial

Banco de España

Seguimiento y medición de resultados

Informes trimestrales económicos del Ministerio de economía y hacienda.

Informes del semestrales del Instituto de Crédito Oficial

Informes del semestrales Ministerio de industria, comercio y turismo

Informes trimestrales del Banco de España.

5.2.2. Plan educativo y concienciador

Cooperación con el ministerio de educación para la inserción en todos los planes educativos de un temario concienciador de la realidad sobre la seguridad de la industria nuclear.

Programa de conferencias y campañas informativas sobre los avances y seguridad actuales involucrando a las asociaciones ecologistas favorables al sector y diversidad de divulgadores científicos.

Este plan será apoyado por el Plan de seguridad y transparencia

Objetivos

Dar una perspectiva real de la seguridad a los usuarios.

Truncar la red de información sesgada proporcionada por algunas asociaciones ecologistas y actores de otros sectores contrarios al sector por motivos económicos.

Proporcionar a los usuarios una capacidad de decisión basada en datos reales, contrastados y actualizados por la comunidad científica.

ODS



Actores implicados

Ministerio de industria, comercio y turismo
Ministerio de educación y formación profesional
Asociaciones ecologistas
Divulgadores científicos
Consejo de seguridad nuclear
Centro de investigaciones sociológicas
Universidades

Seguimiento y medición de resultados

Encuestas del CIS de la opinión pública sobre el sector para demostrar el cambio en el grado de aceptación social de la energía nuclear.

Se encargará a las universidades realizar investigaciones de análisis estadísticos en donde se pueda comprobar y contrastar con el CIS los resultados obtenidos sobre el cambio de la perspectiva social hacia el sector de la industria nuclear en España.

Una vez realizados los estudios, se medirá el grado de cumplimiento con el objetivo específico del plan asociado al porcentaje de aceptación de la población española acerca de la implantación de energía nuclear.

5.2.3. Plan de seguridad jurídica

Encontrar mecanismos de blindaje para las reformas legislativas que afectan al sector nuclear que garanticen la seguridad jurídica de todos los proyectos durante el doble del tiempo de su amortización.

Ley de reducción burocrática.

Ley de garantización de plazos de construcción.

Objetivos

Crear un entorno atractivo y tranquilizador para los inversores.

Reducir los tiempos de trámites burocráticos.

Asegurar el cumplimiento de los plazos de construcción de las instalaciones nucleares

Evitar parones innecesarios por injerencias de terceros debido a leyes mal formuladas y vacíos legales.

ODS



Actores implicados

Ministerio justicia

Abogacía del estado

Banco de España

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

Consejo de seguridad nuclear

Ministerio de industria, comercio y turismo

Seguimiento y medición de resultados

Informes semestrales del Consejo de seguridad nuclear

Informes semestrales de la Abogacía del estado

Informes semestrales del Ministerio justicia

5.2.4. Plan de conservación de la industria nuclear actual

Los avances tecnológicos hacen posible extender la vida útil por tiempo indefinido de las actuales centrales nucleares en funcionamiento. Este plan será enmarcado en el plan de transición nuclear y estará orientado a sustituir los reactores antiguos por reactores SMR de última generación.

Objetivo

Crear comisión especial en el consejo de seguridad nuclear para monitorizar el funcionamiento y viabilidad de las centrales actuales hasta su sustitución por reactores SMR.

ODS



Actores implicados

Empresas propietarias de las centrales (Iberdrola, Endesa...)

Consejo de seguridad nuclear.

Westinghouse.

Hitachi.

Seguimiento y medición de resultados

Control exclusivo del Consejo de seguridad nuclear atendiendo a los planes de mantenimiento y futura sustitución.

5.2.5. Plan de minería y fabricación de combustible

Modificación de las leyes para permitir un uso de la minería de uranio con fines exclusivos de autoconsumo. Evitando así problemas medioambientales por sobreexplotación. Se prohibirá su exportación, considerándolo bien de interés común a la sociedad.

Construcción de planta de fabricación de combustible MOX junto al depósito de residuos de "El Cabril".

Construcción de fábrica de combustible MOX en enclave costero estratégico.

Tratados internacionales para la importación de residuos nucleares con el fin de reciclarlos como combustible MOX

Integración de los procesos de extracción de uranio y tierras raras en las plantas de procesado de roca fosfórica para producción de fertilizantes.

Creación del sello de calidad de Industria Agropecuaria con Fosfatos Libres de Actínidos.

Objetivos

Cierre del ciclo de combustible minimizando el uranio proveniente de minería.

Autosuficiencia de combustible para las centrales nucleares preservando las reservas de uranio para posibles emergencias futuras.

Crear una industria de nuevos fertilizantes de alta calidad libres de actínidos, reducir los costos e impulsar el sector agropecuario.

ODS



Actores implicados

Consejo de seguridad nuclear

Ministerio de industria, comercio y turismo

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

Empresas de minería y prospección

ENRESA Fabricación de combustible

Westinghouse gestión exterior I+D

Hitachi I+D

IDOM

Ministerio de asuntos exteriores

Seguimiento y medición de resultados

Recopilación de datos y realización de Informes semestrales del Ministerio de industria, comercio y turismo sobre estado de licencias, permisos y avance de la infraestructura de minería de uranio y depuración de fosfatos.

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Control del cumplimiento de leyes.

Ministerio de asuntos exteriores, control de tratados internacionales y cumplimiento de directivas europeas.

5.2.6. Plan tecnológico

Se considerará la industria nuclear como un bien común para la sociedad.

Quedará libre de impuestos la industria tecnológica y se establecerá un plan de inversión y subvenciones estatales a la investigación y desarrollo a las empresa e instituciones que desarrollen tecnología y reactores de última generación alimentados de combustible reciclado o sales fundidas.

Se creará un consejo de tecnología nuclear formado por miembros de la comunidad científica nacional y del que se hará partícipes a socios estratégicos como Westinghouse, Hitachi e IDOM.

Proceso de creación de parques tecnológicos controlado por el consejo de seguridad nuclear.

Objetivos

Hacer de España centro neurálgico de la industria nuclear.

Construcción de fábrica de reactores SMR.

ODS



Actores implicados

Consejo de seguridad nuclear

Westinghouse I+D

Hitachi I+D

IDOM

Seguimiento y medición de resultados

Informes semestrales del Ministerio de industria, comercio y turismo sobre el crecimiento de las inversiones, estado y evolución de los parques tecnológicos.

5.2.7. Plan de cooperación internacional

Establecer alianzas estratégicas con todos los países pertenecientes a la UE y otros países sin conflicto armamentístico, con el compromiso de proveerles de toda la tecnología necesaria a cambio de financiación del plan tecnológico.

Objetivo

Hacer de la fábrica de reactores SMR un referente y ser proveedores a nivel mundial de esta tecnología.

ODS



Actores implicados

Ministerio de industria, comercio y turismo
Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico
Ministerio de asuntos exteriores.

Seguimiento y medición de resultados

Informes semestrales con mediciones de inversión del Ministerio de industria, comercio y turismo.

Informes semestrales del estado de los tratados internacionales de cooperación, futuras inversiones y exportaciones. Ministerio de asuntos exteriores.

5.2.8. Plan de transición energética nuclear

Con los datos actuales el objetivo es aumentar la potencia instalada hasta los 50 GWe. Este objetivo será siempre variable y revisado periódicamente. Quedará sujeto al objetivo principal de estas políticas, usar la industria nuclear como instrumento para una transición ecológica y de descarbonización.

Estudio de las centrales térmicas existentes para concretar cuáles cumplen los requisitos para ser sustituidas por reactores SMR.

Sustitución paulatina de centrales térmicas por reactores SMR alimentados por combustible MOX y sales fundidas.

Objetivo

Aumentar todo lo posible la potencia instalada de energía nuclear reduciendo los residuos almacenados.

ODS



Actores implicados

Ministerio de industria, comercio y turismo
Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico
Consejo de seguridad nuclear
Westinghouse I+D
Hitachi I+D
IDOM
Empresas privadas energéticas (Endesa, Iberdrola....)

Seguimiento y medición de resultados

Recopilación de datos y realización de Informes semestrales del Ministerio de industria, comercio y turismo sobre estado de licencias permisos y avance de la infraestructura de nuevos reactores

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Control de cumplimiento de leyes.

5.2.9. Plan de industrialización de la España vaciada

Favorecer la instalación de industrias intensivas en zonas despobladas mediante la construcción de reactores SMR para su abastecimiento de energía.

Objetivo

Dar oportunidades a las zonas más castigadas por la despoblación.

ODS



Actores implicados

Ministerio de industria, comercio y turismo
Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico
Consejo de seguridad nuclear
Westinghouse I+D
Hitachi I+D
IDOM
Empresas privadas energéticas (Endesa, Iberdrola....)

Seguimiento y medición de resultados

Informes semestrales del Ministerio de industria, comercio y turismo

Informes semestrales del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

5.2.10. Plan de Hidrógeno verde y combustible sintético

Centro de investigación para aplicaciones del H₂ y el combustible sintético.

Promover la investigación y comercialización de vehículos propulsados por sistemas de H₂ y combustible sintético para sustituir a los sistemas actuales de combustión emisores de CO₂ y los eléctricos generadores de residuos contaminantes.

Creación de entramado estratégico de plantas de hidrógeno y combustible sintético con el fin de mantener una producción continua de energía nuclear y derivar ésta a las plantas de H₂ a las horas en las que cae la demanda de la red.

Estudiar la creación de reactores para la producción exclusiva de H₂ y combustible sintético.

Objetivo

Abastecer las necesidades del parque móvil, la industria y el transporte con combustibles libres de emisiones.

ODS



Actores implicados

Ministerio de industria, comercio y turismo

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

Consejo de seguridad nuclear

Westinghouse I+D

Hitachi I+D

Empresas privadas energéticas (Endesa, Iberdrola....)

Seguimiento y medición de resultados

Recopilación de datos y realización de Informes semestrales del Ministerio de industria, comercio y turismo sobre estado de licencias, permisos y avance de la infraestructura de Hidrógeno verde.

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Control de cumplimiento de leyes.

5.2.11. Plan de desalinización de agua

Creación de infraestructura necesaria para la desalinización de agua con energía nuclear.

Integración de las aguas residuales en una infraestructura de tratamiento de aguas con energía nuclear.

Objetivos

Garantizar suministro a la agricultura y reducir sus costes.

Evitar la sobreexplotación de los recursos y acuíferos naturales.

Reducir costes de tratamiento de aguas residuales y garantizar una red de depuración con mayor control y eficacia.

ODS



Actores implicados

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Ministerio de industria, comercio y turismo

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

Consejo de seguridad nuclear

Westinghouse I+D

Hitachi I+D

IDOM

Red hidrográfica

Seguimiento y medición de resultados

Informes semestrales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Informes semestrales de Red hidrográfica

Informes semestrales del Ministerio de industria, comercio y turismo

Informes semestrales del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

5.2.12. Plan de retorno de inversión para un futuro sostenible

Una vez se considere estable, en modo funcional y económico el sistema de energía nuclear, se gravará con un 5% la energía producida.

Objetivo

Financiar la investigación y desarrollo de sistemas de energías renovables limpias y libres de residuos, así como en la tecnología de fusión nuclear.

ODS



Actores implicados

Ministerio de industria, comercio y turismo

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

Ministerio de economía y hacienda

Seguimiento y medición de resultados

Informes trimestrales económicos del Ministerio de economía y hacienda.

Informes anuales del control del Ministerio de industria, comercio y turismo de la reinversión del 5% en I+D.

5.2.13. Plan de seguridad y transparencia

Plan de seguridad apoyado de últimas tecnologías con inteligencia artificial y sistemas de smart contracts en tecnología blockchain.

Sistema de trazabilidad basado en tecnología blockchain de toda la línea de vida de la industria. El sistema será 100% accesible por parte de cualquier ciudadano. Este sistema será utilizado para el control y seguimiento del nuevo plan de energía nuclear

Objetivo

Establecer un sistema de seguridad de última generación que abarque a toda la industria e identifique a todos los actores implicados en cada proceso depurando responsabilidades en cualquier posible error o actuación de mala fe.

ODS



Actores implicados

Ministerio de industria, comercio y turismo

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

Consejo de seguridad nuclear

Westinghouse I+D

Hitachi I+D

Empresas privadas energéticas (Endesa, Iberdrola...)

Seguimiento y medición de resultados

Recopilación de datos y realización de Informes semestrales del Ministerio de industria, comercio y turismo sobre estado del sistema.

Informes trimestrales del consejo de seguridad nuclear

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Control de cumplimiento de leyes.

Indicadores de Medición de Resultados

Informes semestrales:

Revisión de cambios en el mix de potencia instalada.

Contabilización de pedidos de reactores SMR.

Contabilización entradas y salidas de materias primas y MOX.

Seguimiento del precio de la energía y la influencia de la energía nuclear en el costo medio final.

Proceso de Seguimiento

- Volver a poner en funcionamiento la Comisión Nacional de Energía que junto al Consejo de seguridad nuclear deberán coordinar todo el proceso facilitando la información recopilada durante el proceso al poder legislativo con el fin de no retrasar las modificaciones necesarias en las distintas leyes y la tramitación de todo permiso necesario para el normal funcionamiento de la industria.

- Trazabilidad por tecnología Blockchain

Utilización del sistema de trazabilidad de toda la vida del proceso industrial transparente, incorruptible y accesible a cualquier ciudadano mediante servicios de tecnología blockchain.

Integración de la OMIE en el sistema de trazabilidad.

Conclusiones

Los resultados de este análisis permiten concluir que la industria nuclear supone una oportunidad económica y ecológica como instrumento para la transición hacia un mix energético totalmente descarbonizado y libre de residuos a medio largo plazo. Además, brinda importantes beneficios a escala económica, de empleo, ámbito social y salud pública. A continuación, se recogen algunas conclusiones con las cifras principales que permiten sostener esta conclusión:

La implantación de la industria de última generación para el autoabastecimiento y la exportación movilizará 270 y 350 mil millones de euros de inversiones en España entre 2023 y 2040, lo que generará un importante efecto expansivo en la economía.

Industria de hidrógeno y combustible sintético a precios competitivos, capaz de sustituir al 50% de hidrocarburos en 2030, aumentando un 5% anual a partir de esa fecha, permitirá ahorrar más de 50 mil millones de euros anuales en importaciones de combustibles fósiles antes de 2040.

Las medidas que se pondrán en marcha generarán entre 50000 y 95000 nuevos empleos entre 2023 y 2040 en el sector de la industria nuclear, además de afianzar los 28000 existentes.

La ley agilización burocrática, la nueva fiscalidad para el sector nuclear, asegurar una financiación a bajo coste, el aprovechamiento de las infraestructuras existentes de las centrales térmicas, la fabricación en serie y construcción de reactores SMR, las instalaciones multi-unidad y demás avances y optimizaciones del sector, garantizarán un coste de producción de la energía por debajo de 40€/MWh.

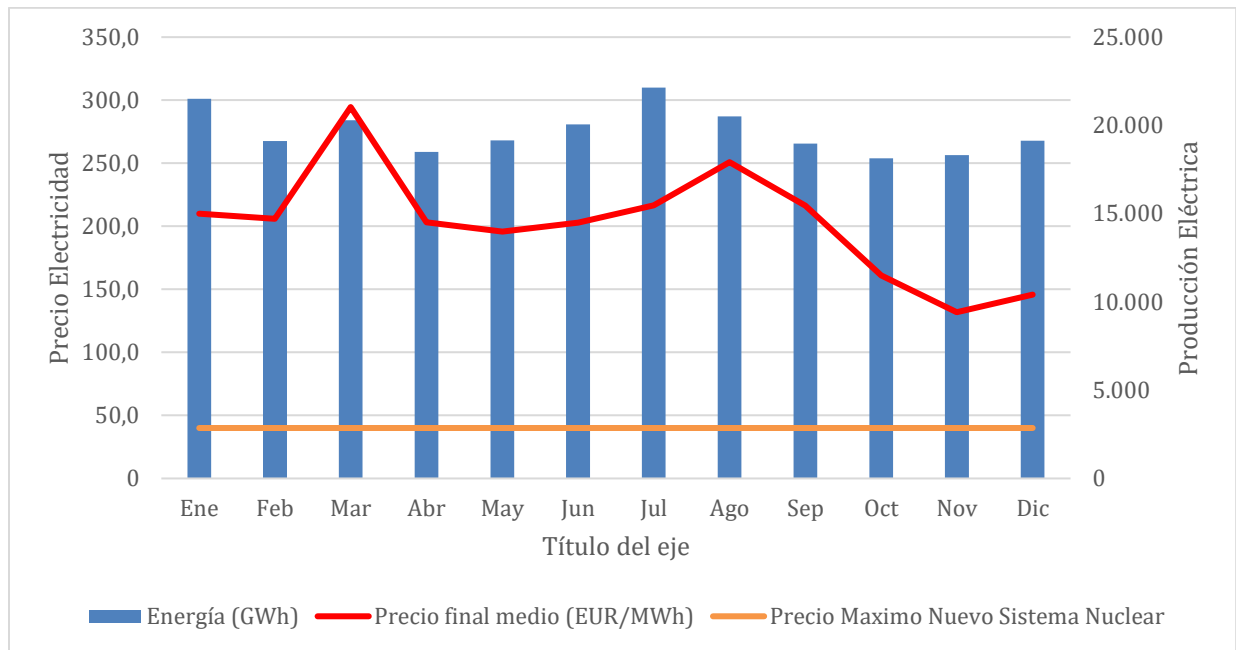


Figura 33. Comparativa datos precio de producción eléctrica de 2022 y el nuevo sistema nuclear.

Fuente: (OMIE, 2023a) y elaboración propia.

TABLA 11. PREVISIÓN CON HIPÓTESIS DE PRECIO MÁXIMO 40 €/MWh. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, DATOS (OMIE, 2023A)

Demanda total del mercado eléctrico en 2022	235.643 GWh
Coste precio mercado 2022	48.065.050.520 €/año
Coste precio Nuevo Sistema Nuclear	9.425.720.000 €/año
Previsión de ahorro	38.639.330.520€/año

La fortaleza aportada al mix energético por el factor de disponibilidad de la energía nuclear, garantizará el suministro siendo un respaldo imprescindible para las renovables y suponiendo también una posibilidad de nuevas formas regulación de mercado más favorable para todas las partes eliminando la incertidumbre de la generación de energía al garantizar un precio máximo.

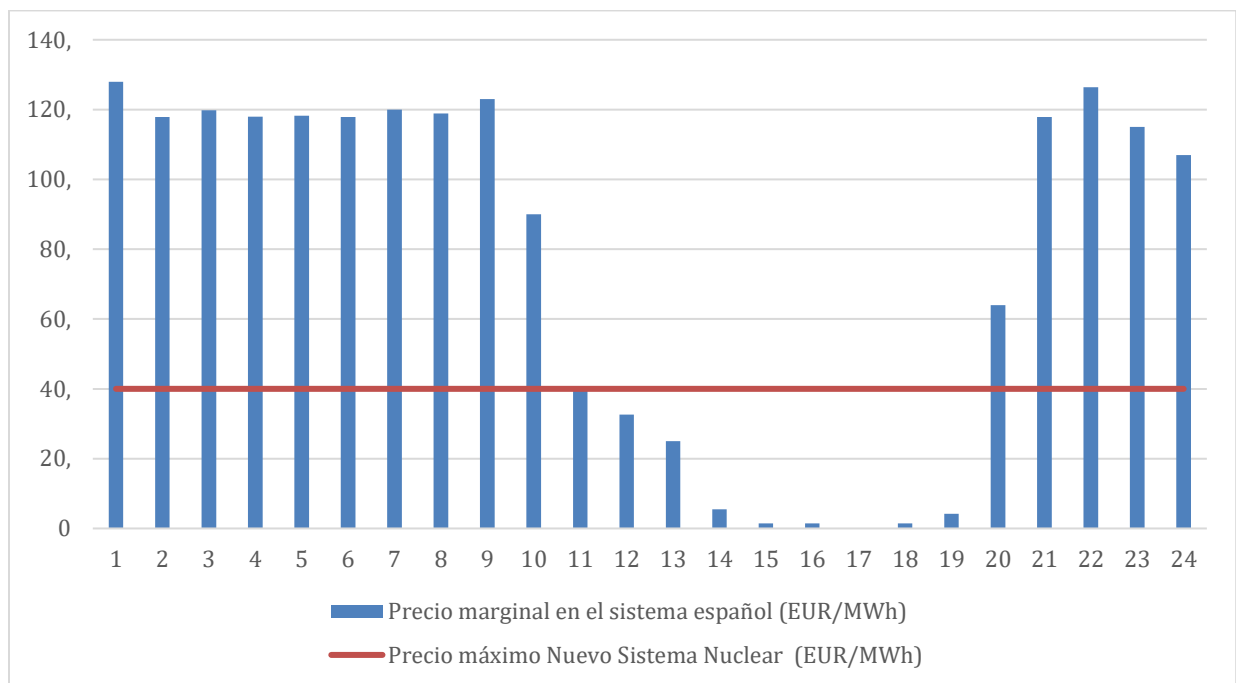


Figura 34. Gráfico comparativo de la inestabilidad del mercado diario actual frente al Nuevo Sistema Nuclear.

Fuente: elaboración propia, datos del 09/04/2023 (OMIE, 2023b)

El nuevo sistema garantizará paulatinamente la autosuficiencia e independencia energética antes de 2040.

A partir de 2030, con un mercado energético consolidado, estable y de precios contenidos, se espera un crecimiento orgánico de la industria que supondrá un aumento de la oferta laboral de calidad a un ritmo de 15000 a 25000 empleos por año.

Aumento de un 200% de la industria intensiva precisada de cogeneración para el año 2035.

Aumento de la red de desalinización y tratamiento de aguas residuales integradas en procesos de energía nuclear hasta los 12 hm³/día antes de 2030.

Preservación del ecosistema y acuíferos naturales reduciendo su explotación al ritmo de la creación de la red de desalinización y tratamiento de aguas residuales.

Este nuevo escenario en el mercado energético, supondrá un considerable aumento de la inversión extranjera en todos los sectores aún difícil de cuantificar pues irá ligado al crecimiento orgánico.

El plan permitirá la reducción paulatina de emisiones de CO₂ en un 50% antes de 2035 y hasta un 83% en 2040 sobre las emisiones actuales.

Reducción de los costes para el sistema agropecuario derivados de los fertilizantes en un 80% y de un 50% de los derivados del gasto de abastecimiento de agua.

El cierre del ciclo de combustible nuclear conseguirá una reducción del 90% del volumen de los residuos nucleares almacenados actualmente y la disminución de la vida de los restantes a niveles inferiores a categoría RBBA, residuos de muy baja actividad.

Finalmente, las medidas tendrán una incidencia muy positiva en términos de salud. La mejora de la calidad del aire con las medidas previstas en el Plan evitará la muerte prematura de alrededor de entre 15000 y 35000 personas anualmente en España a partir de 2030, lo que supondrá una reducción de entre el 33% y el 78% con respecto a cifras actuales.

ODS



Referencias Bibliográficas

65y más. (2023). *Se duplica el apoyo de los españoles a la energía nuclear.*

https://www.65ymas.com/sociedad/efectos-guerra-ucrania-se-duplica-numero-espanoles-apoya-energia-nuclear_48997_102.html

Ambrose, J. (2021). *Rolls-Royce secures £450m for mini nuclear reactors venture | Energy industry | The Guardian.* <https://www.theguardian.com/business/2021/nov/08/rolls-royce-secures-450m-for-mini-nuclear-reactors-venture>

Balkan Green Energy News. (2023). *Romania on track to become first country with SMR nuclear power plant.* <https://balkangreenenergynews.com/romania-on-track-to-become-first-country-with-smr-nuclear-power-plant/>

Banco de España. (2022). *Proyecciones macro - Análisis económico e investigación - Publicaciones - Inicio - Banco de España.* <https://www.bde.es/wbe/es/publicaciones/analisis-economico-investigacion/proyecciones-macro/>

Bankinter. (2023). *▷ Previsión del paro en España para 2023 y 2024 | Blog Bankinter.* <https://www.bankinter.com/blog/economia/previsiones-paro-espana>

BOE. (2022). *BOE-A-2022-5809 Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.* <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>

Chávez, J. (2022). *Bulgaria y Grecia intensifican cooperación en sector nuclear - Energía Hoy.* <https://energiyahoy.com/2022/04/04/bulgaria-y-grecia-intensifican-cooperacion-en-sector-nuclear/>

De la Torre, A. (2022). *El coche eléctrico tiene otro problema en España: faltan enchufes ultrarrápidos y los que hay no sirven.* <https://www.xataka.com/movilidad/coche-electrico-tiene-otro-problema-espana-faltan-enchufes-ultrarrapidos-que-hay-no-sirven>

-
- DevEX. (2021). *EntX | DevEX Resources*. <https://www.devexresources.com.au/entx>
- Díaz, J. (2022). *Un nuevo invento convierte los diésel en motores de hidrógeno ecológicos*. https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2022-10-11/hidrogeno-diesel-combustion-reduccion-co2_3504233/
- Dpto. Ing. Química UPM. (2018). *TEMA VI. LA INDUSTRIA DEL ÁCIDO FOSFÓRICO Y DE LOS FOSFATOS*. http://www.diquima.upm.es/old_diquima/docencia/tqindustrial/docs/cap4_fosforico.pdf
- El Mundo. (2023). *Una década de batalla por la mina de uranio de Salamanca que Ribera mantiene en el cajón | Empresas*. <https://www.elmundo.es/economia/empresas/2023/03/30/641c525521efa078638b457a.html>
- Elder, R., & Allen, R. (2009). Nuclear heat for hydrogen production: Coupling a very high/high temperature reactor to a hydrogen production plant. *Progress in Nuclear Energy*, 51(3), 500–525. <https://doi.org/10.1016/J.PNUCENE.2008.11.001>
- Emsbo, P., McLaughlin, P. I., Breit, G. N., du Bray, E. A., & Koenig, A. E. (2015). Rare earth elements in sedimentary phosphate deposits: Solution to the global REE crisis? *Gondwana Research*, 27(2), 776–785. <https://doi.org/10.1016/J.GR.2014.10.008>
- Encalada, A., Berrezueta, S.-J., De Cuenca, U., De, F., Económicas, C., Administrativas, Y., De Economía, C., Sector, S. E., Del, R., De, Á., De, C., & Empresa, L. A. (2014). *Análisis de los factores que afectan la demanda de energía eléctrica y su estimación. Sector residencial del área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., período 2002-2012*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5184>
- Energy News AFP. (2022). *Proyecto nuclear: Rumanía obtiene financiación de Washington - Energynews.pro*. <https://energynews.pro/es/proyecto-nuclear-rumania-obtiene-financiacion-de-washington/>

-
- Esmail, S. M. M., & Cheong, J. H. (2021). Studies on Optimal Strategy to Adopt Nuclear Power Plants into Saudi Arabian Energy System Using MESSAGE Tool. *Science and Technology of Nuclear Installations, 2021*. <https://doi.org/10.1155/2021/8818479>
- Ethic. (2018). *¿Por qué hay grupos ecologistas que defienden la energía nuclear?: Ethic*. <https://ethic.es/2018/08/ecologistas-a-favor-de-energia-nuclear/>
- Euronews. (2022a). *El Parlamento Europeo etiqueta como “verdes” la energía nuclear y el gas | Euronews*. <https://es.euronews.com/my-europe/2022/07/06/el-parlamento-europeo-etiqueta-como-verdes-la-energia-nuclear-y-el-gas>
- Euronews. (2022b). *Hungría ampliará su única planta nuclear con ayuda de Rusia | Euronews*. <https://es.euronews.com/2022/08/27/hungria-ampliara-su-unica-planta-nuclear-con-ayuda-de-rusia>
- Eurostat. (2022). *Euro area annual inflation up to 10.7% - Products Euro Indicators - Eurostat*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-euro-indicators/-/2-31102022-ap>
- Fertiberia. (2022). *HUELVA PAG 1Y12.cdr*.
- Fisher M. (2020). *Producción de hidrógeno mediante energía nuclear | OIEA*. <https://www.iaea.org/es/bulletin/la-energia-nucleoelectrica-y-la-transicion-a-una-energia-limpia/mas-que-una-fuente-de-electricidad-sin-mas>
- Fisher, M. (2020). *Spotlight on Innovation: Molten Salt Reactors for a Sustainable Clean Energy Transition | IAEA*. <https://www.iaea.org/newscenter/news/spotlight-on-innovation-molten-salt-reactors-for-a-sustainable-clean-energy-transition>
- Foro Nuclear. (2020). *Características y ventajas de los reactores modulares pequeños (SMR) - Foro Nuclear*. <https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/caracteristicas-y-ventajas-de-los-reactores-modulares-pequenos/>
- Foro Nuclear. (2021 a). *Energía nuclear en España - Foro Nuclear*. <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/energia-nuclear-en-espana/>

Foro Nuclear. (2021b). *La ONU pide no excluir a la energía nuclear de la lucha contra el cambio climático - Foro Nuclear*. <https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/la-onu-pide-no-excluir-a-la-energia-nuclear-de-la-lucha-contra-el-cambio-climatico/>

Foro Nuclear. (2022a). *RESULTADOS NUCLEARES DE 2022 y perspectivas de futuro*. www.foronuclear.org

Foro Nuclear. (2022b). *El combustible MOX: ¿Qué es y cómo se usa? - Foro Nuclear*. <https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/el-combustible-mox-que-es-y-como-se-usa/>

Foro Nuclear. (2022c). *Polonia planifica tener su primera central nuclear operativa en 2033 - Foro Nuclear*. <https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/polonia-planifica-tener-su-primera-central-nuclear-operativa-en-2033/>

García, A. (2023). *Operador Nuclear (@operadornuclear) • Fotos y videos de Instagram*. <https://www.instagram.com/operadornuclear/?hl=es>

González, E. (2021). *Aumenta la conciencia ambiental de la sociedad*. https://www.elconfidencial.com/medioambiente/empresa/2021-01-16/empresa-medio-ambiente-conciencia-ambiental_2908044/

González Jiménez, A. (2021). *Presión fiscal sobre la actividad del parque nuclear español - Revista Nuclear Española*. <https://www.revistanuclear.es/instalaciones/presion-fiscal-sobre-la-actividad-del-parque-nuclear-espanol/>

González Navarro, J. (2006). *España importa el 100% del uranio, el 99,5% del gas y del petróleo, el 55% del carbón y el 40% del gasóleo*. https://www.abc.es/economia/abci-espana-importa-100por-ciento-uranio-5por-ciento-y-petroleo-55por-ciento-carbon-y-40por-ciento-gasol-200601220300-1313893223746_noticia.html

Harpreet Singh, Chengxi Li, Peng Cheng, Xunjie Wang, & Qing Liu. (2022). A critical review of technologies, costs, and projects for production of carbon-neutral liquid e-fuels from

hydrogen and captured CO 2. *Energy Advances*, 1(9), 580–605.

<https://doi.org/10.1039/D2YA00173J>

HO, M. (2021). *Global development in small modular reactors* | ANSTO.

<https://www.ansto.gov.au/news/global-development-small-modular-reactors>

Intereconomía. (2022). *Paro en la UE: tasa media, 6%; tasa media en España, 12,4%, la más alta de Europa*. <https://intereconomia.com/noticia/empresas/paro-en-la-ue-tasa-media-6-tasa-media-en-espana-124-la-mas-alta-de-europa-20220930-1448/>

Khamis, I., & El-Emam, R. S. (2016). IAEA coordinated research activity on nuclear desalination: the quest for new technologies and techno-economic assessment.

Desalination, 394, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.DESAL.2016.04.015>

Larrosa Peruga, Ó. & H. I. (2020). *PEQUEÑOS REACTORES MODULARES: REACTORES ESTABLES DE SALES FUNDIDAS*. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.revistanuclear.es/wp-content/uploads/2020/09/Art.-IDOM-esp.pdf>

Liou, J. (2021). *¿Qué son los reactores modulares pequeños (SMR)?* | OIEA.

<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-son-los-reactores-modulares-pequenos-smr>

Liu, X., Seberry, G., Kook, S., Chan, Q. N., & Hawkes, E. R. (2022). Direct injection of hydrogen main fuel and diesel pilot fuel in a retrofitted single-cylinder compression ignition engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(84), 35864–35876.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.08.149>

Locatelli, G., Bingham, C., & Mancini, M. (2014). Small modular reactors: A comprehensive overview of their economics and strategic aspects. *Progress in Nuclear Energy*, 73, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.01.010>

MEConstructionNews. (2022). *Unit 3 of Barakah Nuclear Plant successfully connected to UAE power grid*. <https://meconstructionnews.com/54730/unit-3-of-barakah-nuclear-plant-successfully-connected-to-uae-power-grid>

Meraviglia, A. (2019). *El Gobierno cierra el calendario con las fechas de clausura de cada central nuclear | Empresas | Cinco Días*.
https://cincodias.elpais.com/cincodias/2019/02/08/companias/1549647160_807281.html

MITECO. (2019). *Proyecciones población del Instituto Nacional de Estadística y previsiones demográficas de la autoridad independiente de responsabilidad fiscal - Demografía - Informes de interés - Más información - Portal de la Transparencia de la Administración del Estado. España - Inicio*.
https://transparencia.gob.es/transparencia/gl/transparencia_Home/index/MasInformacion/Informes-de-interes/Demografia/ProyeccionesDemograficasINE212021.html

MITECO. (2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*.
<https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>

Moeller, W., & Winkler, K. (1968). The double contact process for sulfuric acid production. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 18(5), 324–325.
<https://doi.org/10.1080/00022470.1968.10469134>

Monforte, C. (2015). *La moratoria nuclear, aquel rescate financiero de las eléctricas | Empresas | Cinco Días*.
https://cincodias.elpais.com/cincodias/2015/02/05/empresas/1423161623_306949.html

Mucha, M. (2021). *“Necesitamos construir al menos seis reactores nucleares más en España” | Crónica*.
<https://www.elmundo.es/cronica/2021/11/13/618eb77321efa0f95c8b458f.html>

-
- Nuclear Energy Agency. (2020). *Nuclear Technology Development and Economics 2020 Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders*.
- OMIE. (2023a). *OMIE, Precio final medio (EUR/MWh) - Total Demanda Nacional* .
- OMIE. (2023b). *Precio horario del mercado diario | OMIE*. <https://www.omie.es/es/market-results/daily/daily-market/daily-hourly-price?scope=daily&date=2023-04-09>
- ONU. (2023). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Org. Agencias. (2021). *Un adiós para siempre: el fin de la minería de uranio y de los hidrocarburos en España*. https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2021-02-25/ley-de-cambio-climatico-uranio-hidrocarburos_2965248/
- Page, D. (2018). *Cuando Franco soñó con tener 30 centrales nucleares*. <https://www.elindependiente.com/economia/2018/03/31/cuando-franco-sono-con-tener-30-centrales-nucleares/>
- Parlamento Europeo. (2022). *Economía circular: definición, importancia y beneficios | Noticias | Parlamento Europeo*. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- P.Energía. (2021). *La nuclear se ahoga en España por los impuestos- El Periódico de la Energía*. P.Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/la-nuclear-se-ahoga-en-espana-por-los-impuestos/>
- Planas, O. (2020). *¿Qué son las barras de control de una central nuclear?* <https://energia-nuclear.net/centrales-nucleares/reactor-nuclear/barras-de-control>
- Pliego, G., Zazo, J. A., Blasco, S., Casas, J. A., & Rodriguez, J. J. (2012). Treatment of highly polluted hazardous industrial wastewaters by combined coagulation - Adsorption and

high-temperature fenton oxidation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51(7), 2888–2896. https://doi.org/10.1021/IE202587B/SUPPL_FILE/IE202587B_SI_001.PDF

Porsche. (2022). *Inaugurada oficialmente la planta piloto de e-fuels en Chile - Porsche Newsroom LAT-AM*. <https://newsroom.porsche.com/es/2022/compania/PLA-porsche-highly-innovative-fuels-hif-inauguracion-apertura-oficial-planta-piloto-efuels--haru-oni-chile-combustibles-sinteticos-30734.html>

P.Tierra. (2022). *El precio de los fertilizantes se triplica en solo dos años*. <https://www.plataformatierra.es/innovacion/el-alto-precio-de-los-fertilizantes-pone-en-riego-la-alimentacion-mundial/>

Ramírez, D. (2020). *Bayer China utilizará VeChain para garantizar la trazabilidad para medicamentos - BeInCrypto*. <https://es.beincrypto.com/bayer-china-utilizara-vechain-garantizar-trazabilidad-medicamentos/>

Ridjan, I., Mathiesen, B. V., & Connolly, D. (2014). Synthetic fuel production costs by means of solid oxide electrolysis cells. *Energy*, 76, 104–113. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2014.04.002>

Rolls-Royce. (2022). *Small Modular Reactors | Rolls-Royce*. <https://www.rolls-royce.com/innovation/small-modular-reactors.aspx#section-why-rolls-royce-smr>

Rosatom. (2020). *Rosatom to convert fast reactor to MOX fuel in 2022 : Uranium & Fuel - World Nuclear News*. <https://world-nuclear-news.org/Articles/Rosatom-plans-progress-to-closed-nuclear-fuel-cycl>

Sáez Hurtado, J. (2022). Qué es Blockchain y cómo funciona la tecnología Blockchain. *Thinking for Innovation*. <https://www.iebschool.com/blog/blockchain-cadena-bloques-revoluciona-sector-financiero-finanzas/>

-
- Samalova, L., Chvala, O., & Maldonado, G. I. (2017). Comparative economic analysis of the Integral Molten Salt Reactor and an advanced PWR using the G4-ECONS methodology. *Annals of Nuclear Energy*, 99, 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.09.001>
- Sanhermelando, J. (2022). *La inflación se dispara al 10,6% en la eurozona con España como segundo país con menor subida de precios.*
https://www.lespanol.com/invertia/economia/macroeconomia/20221117/inflacion-dispara-eurozona-espana-segundo-subida-precios/719178126_0.html
- SAP News Center. (2022). *Cómo la IA cambiará la ciencia y la tecnología nuclear - SAP News Center Latinoamérica.* <https://news.sap.com/latinamerica/2022/10/como-la-ia-cambiara-la-ciencia-y-la-tecnologia-nuclear-bl0g/>
- Segovia, M. (2021). *Lemóniz, de fortín nuclear a piscifactoría vigilada por dos agentes y un perro -.* <https://www.elindependiente.com/espana/pais-vasco/2021/06/15/lemoniz-de-fortin-nuclear-a-piscifactoria-vigilada-por-dos-agentes-y-un-perro/>
- Selectra. (2022). *Subida de la luz: ¿a quién le afecta más el aumento de la luz?*
<https://tarifasgasluz.com/faq/por-que-sube-luz>
- SNE. (2023). *Manifiesto Nuclear - sne.es.* <https://www.sne.es/manifiesto-nuclear/>
- Sociedad Nuclear Española. (2020). *Seguridad y garantía de suministro - sne.es.*
<https://www.sne.es/posicionamiento/seguridad-y-garantia-de-suministro/>
- Sociedad Nuclear Española. (2022a). *La nuclear continúa su suministro habitual en plena ola de calor, evitando que se dispare el uso del gas y el recibo - sne.es.*
<https://www.sne.es/noticias/la-nuclear-continua-su-suministro-habitual-en-plena-ola-de-calor-evitando-que-se-dispare-el-uso-del-gas-y-el-recibo/>
- Sociedad Nuclear Española. (2022b). *Los partidos políticos españoles frente a la postura europea sobre la energía nuclear - sne.es.* <https://www.sne.es/noticias/la-postura-de-los->

partidos-politicos-espanoles-en-relacion-con-la-postura-europea-en-torno-a-la-energia-nuclear/

Tecnatom. (2019). *¿Son los Reactores Modulares Pequeños el futuro de la energía nuclear?*
<https://www.tecnatom.es/blog/smr-reactores-modulares-pequenos-el-futuro-de-la-energia-nuclear/>

Tena, A. (2022). *La Unión Europea concluye que el gas y las nucleares son energías verdes y las equipara a las renovables | Público.* <https://www.publico.es/sociedad/parlamento-europeo-concluye-gas-nucleares-son-energias-verdes-equipara-renovables.html>

WANO. (2018). *The ENARA Nuclear Leadership Academy in the United Arab Emirates | WANO.*
<https://www.wano.info/news-events/inside-wano/member-story/the-enara-nuclear-leadership-academy-in-the-united?lang=en-GB>

Westinghouse. (2023a). *AP300™ Small Modular Reactor.*
<https://www.westinghousenuclear.com/energy-systems/ap300-smr>

Westinghouse. (2023b). *AP300™ Small Modular Reactor.*
<https://www.westinghousenuclear.com/energy-systems/ap300-smr>

World Energy Trade. (2021). *Así es como el sector nuclear aprovecha el potencial de la Inteligencia Artificial - World Energy Trade.* <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/investigacion/asi-es-como-el-sector-nuclear-aprovecha-el-potencial-de-la-inteligencia-artificial>

World Nuclear Association. (2020a). *MOX, Mixed Oxide Fuel - World Nuclear Association.*
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/mixed-oxide-fuel-mox.aspx>

World Nuclear Association. (2020b). *Uranium from Phosphates | Phosphorite Uranium - World Nuclear Association.* <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/uranium-from-phosphates.aspx>

-
- World Nuclear Association. (2021). *Molten Salt Reactors - World Nuclear Association*.
<https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/molten-salt-reactors.aspx>
- World Nuclear News. (2021). *BN-800 fast reactor has first full refuelling with MOX fuel : Uranium & Fuel - World Nuclear News*. <https://world-nuclear-news.org/Articles/BN-800-fast-reactor-fully-loaded-with-MOX-fuel>
- World Nuclear News. (2023). *Polish universities launching nuclear courses, as PKN Orlen plans 79 SMRs : New Nuclear - World Nuclear News*. <https://world-nuclear-news.org/Articles/Polish-universities-launching-courses-ahead-of-rap>
- Wu, S., Wang, L., Zhang, P., El-Shall, H., Moudgil, B., Huang, X., Zhao, L., Zhang, L., & Feng, Z. (2018). Simultaneous recovery of rare earths and uranium from wet process phosphoric acid using solvent extraction with D2EHPA. *Hydrometallurgy*, 175, 109–116.
<https://doi.org/10.1016/J.HYDROMET.2017.10.025>
- Zhang, D., Liu, L., Liu, M., Xu, R., Gong, C., Zhang, J., Wang, C., Qiu, S., & Su, G. (2018). Review of conceptual design and fundamental research of molten salt reactors in China. *International Journal of Energy Research*, 42(5), 1834–1848.
<https://doi.org/10.1002/ER.3979>