

INVIA

LA ENERGÍA ATÓMICA



Autores

Alberto Navarro Fernández

Arturo I. Perera Cortés

Ignacio D. Pascau Pérez de Camino

Lucas Rabadán Arenas

Alberto Rodríguez Muñoz

Tabla de contenido

1. CONCIENCIA SITUACIONAL	4
1.1. Contexto Nuclear en la Unión Europea.....	4
1.1.a) La Energía Nuclear en el Mix Energético	4
1.1.b) Liderazgo de Francia	4
1.1.c) Desarrollo Tecnológico Nuclear	5
1.2 Seguridad Energética y Geopolítica	6
1.2.a) Seguridad Energética.....	6
1.2.b) Impacto de la Guerra en Ucrania.....	6
1.2.c) Renovación del Interés Nuclear.....	7
1.3 Divergencias internas	7
1.3.a) Posición pro-nuclear de Francia	7
1.3.b) El rechazo de Alemania y otros países	7
1.3.c) Tensiones en la política energética común	9
1.4 Transición Verde	9
1.4.a) Objetivos climáticos de la UE	9
1.4.b) Nuclear como herramienta de descarbonización.....	10
1.4.c) Debate sobre su etiqueta verde	10
2. LA GEOPOLÍTICA DE LA ENERGÍA ATÓMICA.....	11
2.1 La geopolítica y la energía atómica. Factores que influyen en la política energética de la Unión Europea	11
2.1.a) Francia	11
2.1.b) Alemania	13
2.2. Geopolítica nuclear en la comunidad internacional aplicada a la Unión.....	14
2.2.a). El caso de India y Pakistán	14
2.2.b) El caso de Arabia Saudí e Irán	16
2.2.c) El caso de Corea del Norte	17
3. ESCENARIOS.....	18
3. 1. Desarrollo del Escenario: "Expansión Nuclear Coordinada en la UE"	18
3.1.a) Delimitación de Parámetros Básicos	18
3.1.b) Análisis Estratégico del Presente	19
3.2.c) Indicadores de Alerta Temprana	19
3.3.d) Identificación de Drivers	20
3.3.e) Análisis de Implicaciones	20
3.2. Desarrollo del Escenario: "Desacuerdo Prolongado y Política Fragmentada. Foco en energías renovables"	21
3.2.a) Delimitación de Parámetros Básicos	21
3.2.b) Análisis Estratégico del Presente	21
3.2.c) Indicadores de Alerta Temprana	21

3.2.d) Identificación de Drivers	22
3.2.e) Análisis de Implicaciones	22
3.3. Desarrollo del Escenario: "Innovación Nuclear y Transición Híbrida"	22
3.3.a) Delimitación de parámetros básicos	22
3.3.b) Análisis estratégico del presente	23
3.3.c) Indicadores de Alerta Temprana	23
3.3.d) Identificación de Drivers	24
3.3.e) Análisis de Implicaciones	24
4. AVISOS ESTRATÉGICOS	25
4.1 Almacenamiento de Residuos Nucleares	25
4.2. Inversión en I+D de Reactores Avanzados (SMR y Generación IV).....	25
4.3. Índice de Confianza Pública en la Energía Nuclear.....	26
4.4. Diversificación de fuentes de suministro de uranio y tecnologías clave	27
4.5. Número de nuevos reactores nucleares en construcción o planeación activa	28
4.6. Taxonomía Verde para la energía nuclear	28
4.7. Índice de reducción de emisiones asociadas a la energía nuclear en el mix energético	29
5. OPORTUNIDADES ESTRATÉGICAS PARA LA UE	30
5.1 Liderazgo en innovación tecnológica y know-how nuclear	30
5.2 Integración y clasificación energética-legal	31
5.3 Gestión de residuos y cooperación internacional	31
5.4 Conclusiones	32
6. ANEXOS.....	33
Anexo I : TABLA COMPARATIVA ENTRE EL MODELO KNOW-HOW DE FRANCIA Y PHASE-OUT DE ALEMANIA	33
Anexo II: GRÁFICO DE ABANDONO DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN EUROPA	34
Anexo III: TABLA GENERAL DE LAS CAPACIDADES Y PROGRAMAS NUCLEARES DE IRÁN, ARABIA SAUDITA, INDIA, PAKISTÁN Y COREA DEL NORTE.....	35
Anexo IV: PRODUCCIÓN NUCLEAR MUNDIAL EN EL AÑO 2023.....	36
7. BIBLIOGRAFÍA.....	38

1. CONCIENCIA SITUACIONAL

1.1. Contexto Nuclear en la Unión Europea

En la actualidad, la energía nuclear desempeña un papel esencial en el suministro energético de la Unión Europea (UE), representando aproximadamente el 25% de la electricidad generada en el bloque. Esta proporción varía notablemente entre los Estados miembros, doce de los veintisiete Estados miembros mantienen programas nucleares activos. Francia es el principal productor, y otros países con una alta dependencia nuclear incluyen Eslovaquia y Bélgica mientras que, en países como Alemania y España, el uso de energía nuclear ha disminuido debido a sus políticas de transición energética.

1.1.a) La Energía Nuclear en el Mix Energético

La energía nuclear es una fuente significativa para muchos países de la UE, especialmente en el contexto de la seguridad energética y la transición hacia una economía baja en carbono. En 2021, trece Estados miembros de la UE produjeron un total de 731.701 GWh de electricidad a partir de plantas nucleares, con Francia liderando este grupo. Actualmente, se están implementando estrategias para reducir las emisiones de carbono, y la energía nuclear se considera fundamental en la consecución de estos objetivos, aunque su papel exacto es objeto de debate en varios países debido a preocupaciones ambientales y de seguridad.

La importancia de la energía nuclear en el continente europeo radica en su capacidad para proporcionar una fuente constante y estable de electricidad. A diferencia de las energías renovables, como la solar o la eólica, la nuclear no depende de factores climáticos, lo que permite una generación energética continua y confiable, especialmente relevante en contextos de crisis de suministro energético o tensiones geopolíticas.

Los países sin energía nuclear tienden a depender más de fuentes fósiles y renovables, lo que destaca la diversidad de la política energética dentro de la UE. Además, varios Estados miembros están evaluando la viabilidad de mantener o expandir sus capacidades nucleares para reducir la dependencia de fuentes energéticas externas, especialmente tras la crisis energética derivada de la invasión rusa de Ucrania.

1.1.b) Liderazgo de Francia

Francia destaca como el motor principal de la energía nuclear en la UE, produciendo el 52% de la energía nuclear total en el bloque. En este país, aproximadamente el 69% de la electricidad proviene de plantas nucleares, que incluyen instalaciones de tercera generación y nuevas iniciativas para construir reactores avanzados. Francia cuenta con 56 reactores operativos y ha liderado la investigación y el desarrollo en tecnologías de energía nuclear,

como el desarrollo de reactores modulares pequeños (SMR)¹, que están ganando popularidad debido a su capacidad para proporcionar energía de forma flexible y segura.

Este liderazgo ha permitido a Francia no sólo reducir su dependencia de combustibles fósiles, sino también actuar como exportador de energía nuclear, suministrando electricidad a países vecinos y promoviendo una red de suministro energético más resiliente. Los compromisos de Francia con la energía nuclear han sido reforzados con la reciente estrategia de transición energética del gobierno, que considera a la energía nuclear como una tecnología crucial para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones y para garantizar la seguridad energética en el largo plazo

1.1.c) Desarrollo Tecnológico Nuclear

La UE está avanzando en el desarrollo de tecnologías de nueva generación, como los reactores modulares pequeños (SMR) y los reactores de generación IV. Estos sistemas ofrecen mejoras en eficiencia, seguridad y flexibilidad en comparación con los reactores convencionales. Los SMR, en particular, son más compactos y pueden instalarse en ubicaciones donde los reactores tradicionales no son viables, lo que permite una distribución más descentralizada de la energía. Además, debido a su tamaño, estos reactores requieren menos combustible y emiten menos residuos, lo que refuerza su atractivo para los países comprometidos con la sostenibilidad.

En cuanto a los reactores de generación IV, estos están diseñados para ser más seguros y eficientes, empleando técnicas avanzadas de gestión de residuos y materiales. Estos avances tecnológicos buscan hacer que la energía nuclear sea más competitiva y sostenible a largo plazo, con el objetivo de reducir las emisiones y el impacto ambiental. Este enfoque innovador es crucial en el contexto de los objetivos climáticos de la UE², que incluyen reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en un 55% para 2030, en comparación con los niveles de 1990

La política nuclear europea, apoyada por el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Tratado Euratom)³, promueve la cooperación entre países en temas de seguridad nuclear y gestión de residuos, elementos críticos para mantener un marco de seguridad en el desarrollo nuclear. Esto asegura que las plantas nucleares cumplan con rigurosas normas de seguridad, desde su construcción hasta su desmantelamiento final, lo cual es fundamental para proteger a la población y el medio ambiente.

¹ Para más información sobre los reactores nucleares pequeños y su ventajas:

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

² Objetivos para el año 2030 de la UE, que incluyen los objetivos climáticos

https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_es

³ Para ver el Tratado Euratom: <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/es/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty>

1.2 Seguridad Energética y Geopolítica

1.2.a) Seguridad Energética

La energía nuclear es un pilar fundamental para la seguridad energética de la Unión Europea (UE), especialmente frente a crisis geopolíticas y energéticas. Al depender de fuentes de energía externas, como el gas ruso, la UE se expone a posibles vulnerabilidades. La guerra en Ucrania o la crisis del mar Rojo han impulsado a Europa a revalorar sus fuentes de energía doméstica, entre las cuales la energía nuclear destaca por su capacidad de proporcionar un suministro estable y confiable. La dependencia de gas ruso en la UE había alcanzado hasta un 40% antes de la guerra, lo que generó una importante vulnerabilidad para muchos países europeos cuando Rusia limitó el suministro en respuesta a las sanciones internacionales. En este contexto, la energía nuclear se presenta como una alternativa capaz de garantizar la autonomía energética y disminuir esta dependencia de fuentes de energía externas.

Además, los reactores nucleares tienen la ventaja de operar de manera continua, proporcionando una fuente de electricidad constante y predecible, independientemente de las condiciones climáticas o geopolíticas. Esto es particularmente importante durante los meses de invierno, cuando la demanda de energía aumenta considerablemente. Como resultado, la Comisión Europea ha reiterado la necesidad de mantener e incluso expandir las instalaciones nucleares existentes en algunos países, a medida que los sistemas energéticos europeos buscan una mayor independencia y estabilidad.

1.2.b) Impacto de la Guerra en Ucrania

La invasión de Ucrania ha dejado en claro la fragilidad de Europa frente a posibles interrupciones de suministro energético, debido principalmente por la alta dependencia del gas ruso. En respuesta, la UE ha tomado medidas drásticas que reduzcan esta dependencia, estableciendo objetivos de diversificación y seguridad energética. A través de la diversificación de sus fuentes de gas natural (incluyendo importaciones de gas natural licuado -GNL⁴- de Estados Unidos y otros países) y la ampliación del papel de la energía nuclear, la UE busca reducir los riesgos de una crisis energética prolongada. La disminución de importaciones de gas ruso ha sido el principal factor que ha llevado a Europa a aumentar sus reservas de gas, pero la energía nuclear, a diferencia de otras alternativas, no depende de los mismos suministradores que el gas.

Algunos países, como Alemania, han decidido eliminar gradualmente la energía nuclear en el pasado, pero la crisis actual ha motivado a la UE a reconsiderar su postura. Si bien Alemania ha cerrado la mayoría de sus plantas nucleares, otros países están renovando sus compromisos con esta fuente de energía. Francia, por ejemplo, ha reafirmado su liderazgo en el uso de energía nuclear para contrarrestar las interrupciones del suministro de gas y limitar la volatilidad de precios. Este cambio en el panorama energético ha puesto a la energía nuclear

⁴ Para más información sobre el Gas Natural Licuado <https://goodnewenergy.enagas.es/sostenibles/que-es-el-gnl-y-por-que-es-la-unica-alternativa-real-para-el-transporte-maritimo/>

en el centro del debate sobre la seguridad energética europea y ha impulsado el interés en tecnologías avanzadas como los reactores modulares pequeños (SMRs).

1.2.c) Renovación del Interés Nuclear

La crisis energética ha revitalizado el interés en la energía nuclear dentro de la UE. Países como Polonia y la República Checa están incrementando sus inversiones en este sector, destacando la importancia de tener una fuente de energía estable y confiable. Este renovado interés se debe, en parte, a los SMRs y a la próxima generación de reactores nucleares que prometen mayor seguridad y flexibilidad en comparación con los reactores tradicionales. Los SMRs están diseñados para ser menos costosos y más rápidos de construir, lo que permite una implementación más rápida y escalable que puede adaptarse a las necesidades energéticas de cada país. La inversión en estas tecnologías podría proporcionar a Europa una fuente de energía autónoma que ayude a cumplir sus objetivos de reducción de carbono al mismo tiempo que asegura un suministro energético confiable en el contexto de la crisis geopolítica actual.

1.3 Divergencias internas

1.3.a) Posición pro-nuclear de Francia

Francia se ha posicionado firmemente como el líder pro-nuclear⁵ dentro de la Unión Europea. Esta nación genera alrededor del 70% de su electricidad mediante energía nuclear y cuenta con una robusta infraestructura de plantas nucleares, consolidando su compromiso con esta fuente energética. Francia defiende que la energía nuclear no solo es una alternativa baja en emisiones de carbono, sino que también proporciona estabilidad y seguridad energética, especialmente en un contexto de crisis energética mundial. Actualmente, el país invierte en la renovación de sus reactores y en el desarrollo de reactores de cuarta generación, con la esperanza de mantener su liderazgo en la transición energética y asegurar el suministro energético en Europa.

Además, Francia apoya los reactores nucleares modulares pequeños (SMR, por sus siglas en inglés), los cuales ofrecen una opción flexible y menos costosa, ideal para descentralizar la producción energética y mejorar la seguridad del suministro. El gobierno francés ha argumentado que el uso de tecnología nuclear avanzada será esencial para cumplir con los objetivos de neutralidad climática en Europa, destacando que esta energía puede complementar las fuentes renovables y ayudar a cubrir la demanda base en la red.

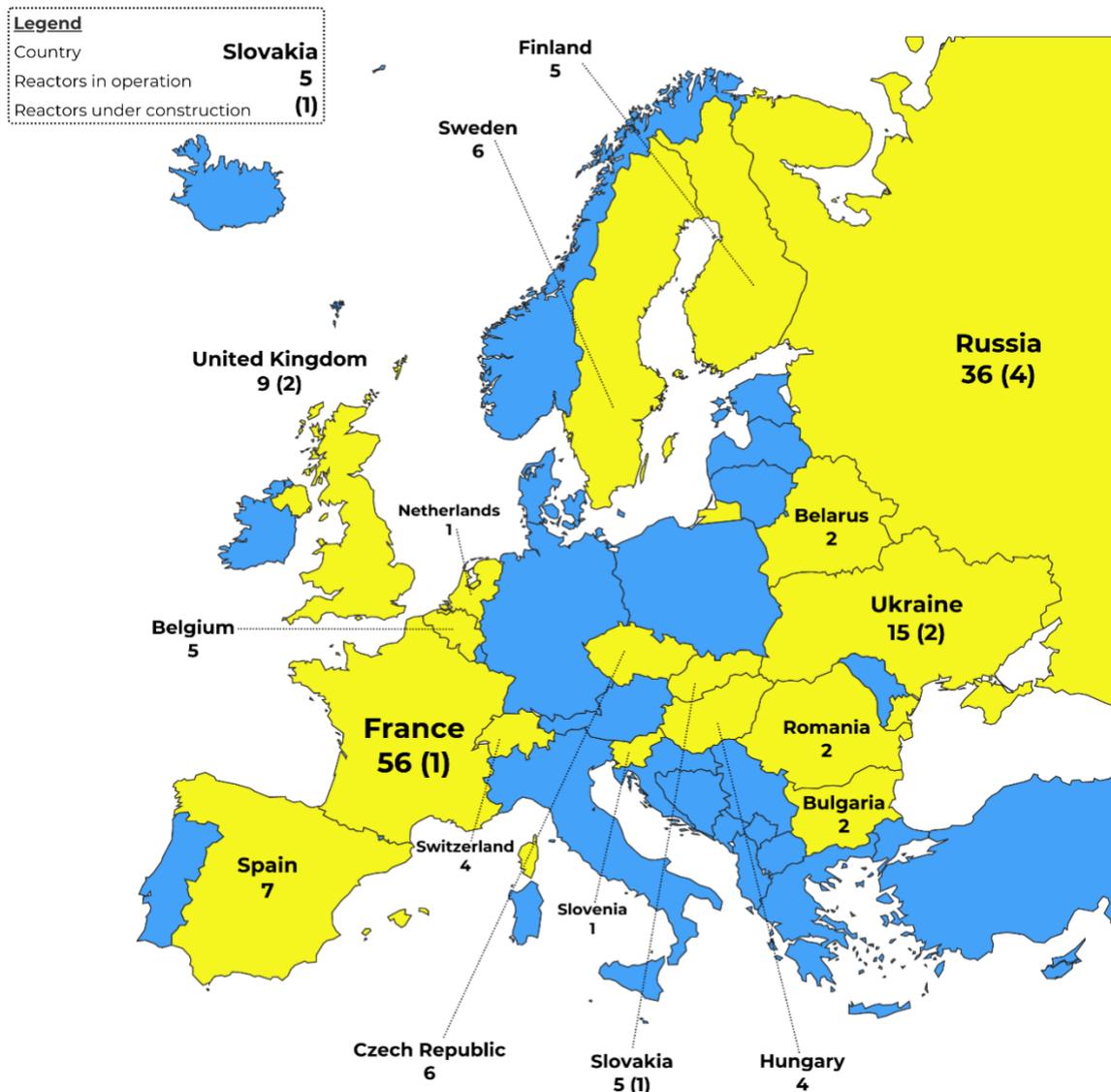
1.3.b) El rechazo de Alemania y otros países

Por otro lado, Alemania ha seguido una trayectoria completamente diferente desde su decisión de eliminar gradualmente la energía nuclear tras el desastre de Fukushima en 2011. En lugar de invertir en esta tecnología, Alemania ha optado por impulsar las energías renovables y reducir su dependencia de cualquier fuente nuclear. Berlín argumenta que los riesgos

⁵ Francia ha sido líder en energía nuclear en Europa desde los años setenta <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france>

ambientales y de seguridad asociados a la energía nuclear son inaceptables y plantea preocupaciones sobre el almacenamiento de residuos radiactivos, un problema que consideran que no ha sido resuelto adecuadamente. La política de Alemania refleja su preocupación por fomentar un enfoque sostenible y seguro para la producción energética.

Otros países como Austria también se oponen a la energía nuclear y abogan por una transición que priorice las energías renovables. De hecho, tanto Alemania como Austria han intentado persuadir a la Comisión Europea para que excluya la energía nuclear de la lista de tecnologías energéticas sostenibles, argumentando que esta decisión desincentivaría las inversiones en renovables y podría retrasar la transición hacia un sistema energético más ecológico.



*Reactores nucleares en activo en Europa (2023, *European Nuclear Society*)

1.3.c) Tensiones en la política energética común

Estas diferencias profundas entre los Estados miembros de la UE han creado una significativa fricción dentro de la política energética común. La pugna entre el bloque pro-nuclear liderado por Francia y el anti-nuclear liderado por Alemania⁶ se ha reflejado en los debates recientes sobre las políticas de sostenibilidad y seguridad energética de la UE. Esta división también ha retrasado la toma de decisiones en aspectos cruciales como la taxonomía verde, la cual determina qué tecnologías pueden recibir financiamiento sostenible. Por ejemplo, en 2022, Francia y Alemania tuvieron posiciones opuestas en el Consejo de la UE sobre si clasificar la energía nuclear como "sostenible", una etiqueta que facilitaría la atracción de inversores hacia este tipo de proyectos.

Estas tensiones no son sólo retóricas, se traducen en desafíos concretos para la Unión Europea al intentar mantener una postura unificada en su política energética y climática. Esta fragmentación complica el cumplimiento de objetivos como la neutralidad climática para 2050⁷ y dificulta la articulación de una respuesta coordinada frente a la crisis energética exacerbada por la guerra en Ucrania. Además, la "máquina franco-alemana," que históricamente ha sido clave para impulsar la integración europea, podría verse afectada. Sin una política de consenso, la UE corre el riesgo de enfrentar una mayor fragmentación en su enfoque hacia la energía nuclear y la seguridad energética, lo que podría tener implicaciones negativas en la capacidad del bloque para reaccionar de manera unificada ante crisis futuras.

Este balance de tensiones refleja una encrucijada en la que la UE deberá decidir cómo integrar la energía nuclear dentro de su estrategia de sostenibilidad, o si debería, en cambio, redirigir sus esfuerzos hacia fuentes renovables en su totalidad. La capacidad de superar estas divisiones internas será esencial para lograr una política energética coherente y efectiva a nivel europeo.

1.4 Transición Verde

1.4.a) Objetivos climáticos de la UE

La Unión Europea ha establecido una serie de objetivos climáticos en su esfuerzo por combatir el cambio climático. Uno de los principales es la neutralidad de carbono para 2050, lo que implica una reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la UE se comprometió a reducir las emisiones en al menos un 55% para 2030 con respecto a los niveles de 1990, en consonancia con los compromisos asumidos en el Acuerdo de París. Estos

⁶ La posición nuclear alemana en la UE se centra fundamentalmente en cómo debe etiquetarse para que no incluya la nuclear junto a las renovables: <https://www.robert-schuman.eu/en/european-issues/0662-a-return-to-grace-for-nuclear-power-in-european-public-opinion-some-elements-of-a-rapid-paradigm>

⁷ El Pacto Verde Europeo y el objetivo de neutralidad climática para 2050 <https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/paginas/2024/que-es-el-pacto-verde-europeo.aspx#:~:text=El%20principal%20objetivo%20del%20Pacto,los%20océanos%20y%20el%20suelo.>

objetivos no solo tienen como fin proteger el medio ambiente, sino también mejorar la seguridad energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles importados.

Algunos de estos compromisos climáticos de la UE también implican que las industrias y sectores energéticos deben adaptarse rápidamente a nuevas normas de sostenibilidad y eficiencia, lo que supone desafíos importantes, pero también oportunidades para innovaciones tecnológicas. Así, la UE promueve la colaboración y la inversión en tecnologías limpias, incluyendo tanto energías renovables como la nuclear, con el objetivo de alcanzar un sistema energético robusto y sostenible.

1.4.b) Nuclear como herramienta de descarbonización

Dentro de la UE, algunos países ven a la energía nuclear no solo como un recurso para cumplir sus metas climáticas, sino también como un elemento clave en su estrategia de descarbonización. Los reactores nucleares generan electricidad con emisiones casi nulas de carbono, permitiendo reemplazar fuentes de energía más contaminantes como el carbón y el gas natural. Esto ha llevado a la consideración de la nuclear como una "energía de transición", que podría facilitar el cambio hacia un sistema energético más limpio sin los desafíos de intermitencia que presentan algunas renovables. Además, la energía nuclear ofrece una opción menos vulnerable a la volatilidad de los precios del combustible, lo cual es importante para la estabilidad económica de la UE, especialmente en momentos de crisis energética.

Sin embargo, esta postura encuentra resistencia debido a problemas como la gestión de residuos radiactivos y los riesgos asociados con accidentes. La crisis energética generada por el conflicto en Ucrania ha llevado a la UE a reconsiderar el papel de la energía nuclear en su mezcla energética, argumentando que podría ser un apoyo en la transición hacia un sistema de bajas emisiones sin incrementar la dependencia de combustibles fósiles importados.

1.4.c) Debate sobre su etiqueta verde

Uno de los debates más intensos en la UE ha sido si la energía nuclear debería ser etiquetada como "verde" en la taxonomía de actividades sostenibles. La inclusión de la energía nuclear en esta taxonomía fue una decisión controversial, que surgió tras un voto del Parlamento Europeo en 2022 para considerar tanto al gas natural como a la energía nuclear como fuentes de energía transicionales. Según esta medida, la energía nuclear se considera "sostenible" bajo ciertos requisitos, tales como la implementación de estándares de seguridad nuclear y la capacidad de gestionar adecuadamente los residuos.

Los defensores de esta etiqueta sostienen que la energía nuclear es fundamental para una transición más rápida hacia la neutralidad de carbono, mientras que sus detractores argumentan que etiquetar la energía nuclear como "verde" diluye el valor de la etiqueta, comprometiendo la credibilidad de la taxonomía de la UE. Además, algunos países, como Austria y Luxemburgo, han expresado su oposición a esta clasificación, alegando que la energía nuclear representa un riesgo significativo y que la UE debería concentrarse en la expansión de fuentes renovables. Por su parte, otros argumentan que la taxonomía debería

reflejar la ciencia climática actual y no depender de tecnologías cuya sostenibilidad a largo plazo sigue siendo incierta.

Este debate refleja la dificultad de equilibrar las demandas de sostenibilidad y seguridad energética dentro de la UE. Si bien algunos países ven en la nuclear una solución pragmática y alineada con sus compromisos de reducción de emisiones, otros consideran que su inclusión en la taxonomía podría desviar inversiones de tecnologías más limpias y menos controversiales. Este equilibrio entre economía, ecología y seguridad subraya la complejidad de la transición verde en Europa y los diversos caminos que los Estados miembros están considerando para alcanzarla.

2. LA GEOPOLÍTICA DE LA ENERGÍA ATÓMICA

2.1 La geopolítica y la energía atómica. Factores que influyen en la política energética de la Unión Europea

La geopolítica y la energía atómica son factores que influyen en las dinámicas de poder en el ámbito internacional. La proliferación de la energía nuclear es una amenaza, especialmente en un entorno global donde las tensiones políticas desencadenan crisis de seguridad. En este sentido, las decisiones sobre el desarrollo y la regulación de la energía nuclear en Europa se centran en la estabilidad geopolítica y en la necesidad de cooperación internacional. **(Ver Anexo I: Tabla comparativa entre el modelo know-how de Francia y phase-out de Alemania)**

2.1.a) Francia

Francia es uno de los principales actores en la energía nuclear mundial, con un modelo centralizado y tecnológicamente avanzado. En 2023, el 70% de su electricidad se obtuvo de sus 56 reactores nucleares y la producción total alcanzó 320 teravatios-hora. De este modo, se ha consolidado como el mayor exportador neto de electricidad en Europa. Este liderazgo se basa en el modelo *know-how*, centrado en la innovación tecnológica, el control estatal y mano de obra altamente especializada. La estructura energética francesa se centra en **Électricité de France⁸ (EDF)**, lo que permite estandarizar los reactores de agua a presión y mantener una política energética nuclear. De hecho, han renacionalizado la EDF para garantizar la viabilidad a largo plazo y facilitar inversiones para modernizar y expandir los reactores.

No obstante, la centralización es limitada. Asegura una infraestructura nuclear robusta, pero no se adapta a un mercado energético global en constante cambio. Además, la dependencia de la importación de uranio genera una vulnerabilidad estructural. A pesar de la autosuficiencia en generación, la cadena de suministro del combustible es un punto débil. Francia reduce este riesgo diversificando sus proveedores de uranio y asegurando su capacidad nacional para el enriquecimiento y reprocesamiento del mismo. Conjuntamente, la infraestructura nuclear francesa no es actual y se generan problemas internos. Los reactores

⁸ <https://www.edf.fr>

tienen un promedio de 36 años, lo que aumenta los riesgos operativos y de seguridad. Problemas como la corrosión por estrés genera vulnerabilidades técnicas, afectando la estabilidad de la producción. Esta situación afecta al circuito de refrigeración de varias centrales. En respuesta, el gobierno ha desarrollado un plan estratégico para extender la vida útil de sus reactores existentes. Además, busca construir al menos 14 nuevos reactores para 2050. Francia consolida la energía nuclear como un pilar fundamental en la descarbonización, alineada con sus compromisos climáticos.

En el contexto regional, Francia es crucial en la estabilidad energética de la Unión Europea. Su capacidad nuclear le permite contribuir a la diversificación de las fuentes energéticas del continente. De este modo, reduce la dependencia de combustibles fósiles en las tensiones geopolíticas con Rusia. Sin embargo, su liderazgo nuclear provoca tensiones con países europeos centrados en energías renovables. Algunos Estados miembros cuestionan la clasificación francesa de la energía nuclear como sostenible.

La inversión en investigación y desarrollo (I+D) es fundamental para el avance de las capacidades nucleares. Francia se mantiene a la vanguardia en tecnología nuclear avanzada a través de la **Agencia Francesa de Energía Atómica**. Además, investiga sobre la fusión nuclear y reactores modulares pequeños. Estos avances tecnológicos garantizan la competitividad de Francia en el sector y consolidan su capacidad de exportación tecnológica. No obstante, la viabilidad económica de los nuevos desarrollos nucleares es insuficiente. Proyectos como el reactor EPR tuvo sobrecostos y retrasos, y se cuestiona la sostenibilidad financiera de la expansión nuclear a gran escala. Por otro lado, se encuentra la gestión de residuos. Francia sigue un modelo de ciclo cerrado, que incluye el reprocesamiento del combustible gastado. De este modo, se reduce el volumen de residuos de alta actividad. Sin embargo, el país tiene problemas de almacenamiento a largo plazo. El proyecto de almacenamiento geológico profundo en Bure fue diseñado para residuos de alta radiactividad. No obstante, enfrenta resistencias tanto técnicas como sociales, lo que complica su implementación.

Además, la transición energética hacia una mayor integración de energías renovables es compleja. Francia planea reducir la participación nuclear al 50% de su mix energético para 2035. Esto plantea un desafío estratégico para mantener la estabilidad de la red y la seguridad del suministro, sin comprometer sus objetivos de descarbonización. En definitiva, Francia tiene una infraestructura sólida, pero en evolución. Es un líder nuclear europeo que enfrenta presiones operativas, económicas y de política pública.

2.1.b) Alemania

La transición energética de Alemania se basa en un plan estratégico de eliminación gradual de la energía nuclear, conocido como el modelo *phase-out*. Esta decisión implicó el cierre de las últimas centrales operativas⁹ (Isar 2, Neckarwestheim 2 y Emsland) para promover fuentes de energía más sostenibles. Esta decisión se fundamenta en una mezcla de consideraciones de sostenibilidad, seguridad energética y compromiso social. Sin embargo, este cambio se produce en un contexto de crisis energética global. Esto ha llevado a Alemania a replantear sus estrategias de seguridad energética y sus compromisos climáticos. En el primer trimestre de 2024, la matriz energética de Alemania muestra una transformación elevada. La generación eléctrica se distribuye en un 62% proveniente de fuentes renovables (eólica y solar), un 22% de carbón y un 16% de gas natural. En 2023, Alemania generó aproximadamente 260 teravatios-hora a partir de energías renovables, lo que representa un incremento del 12% respecto al año anterior. Este crecimiento refleja el compromiso del país de diversificar y descarbonizar su matriz energética. El objetivo es alcanzar un 80% de generación renovables para 2030. (Ver Anexo II: Gráfico de abandono de energía nuclear en Europa)

No obstante, la dependencia de Alemania de las importaciones de energía ha aumentado, alcanzando un 63% de su consumo total en 2022. Cerca del 35% de estas importaciones provienen de Rusia, lo que plantea riesgos de seguridad. Para mitigar esta vulnerabilidad, el gobierno alemán ha intensificado la expansión de las energías renovables y la eficiencia energética. El **Plan Nacional de Energía y Clima** propone reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 65% para 2030. Esto requiere una inversión estimada de 800 mil millones de euros hasta 2045.

Desde la perspectiva de inteligencia energética, Alemania está modernizando sus infraestructuras. Invierte en soluciones de almacenamiento de energía, redes inteligentes y sistemas de gestión energética. En marzo de 2024, la capacidad de almacenamiento de baterías alcanzó aproximadamente 25 GW, un avance crucial para la integración de las energías renovables intermitentes. Sin embargo, el cierre de las plantas nucleares ha afectado significativamente. La falta de energía nuclear ha provocado un aumento en el uso del carbón, que representó el 22% de la generación eléctrica en 2023. Este aumento temporal en el uso del carbón contradice los objetivos de descarbonización establecidos por el gobierno.

El contexto europeo también es relevante, ya que como hemos visto la visión de la energía nuclear en Europa no alcanza un consenso. La divergencia en las políticas energéticas europeas podría conllevar tensiones en la política europea y obstaculizar los esfuerzos conjuntos para la descarbonización. Además, las decisiones alemanas impactan la estabilidad del mercado energético europeo y las dinámicas de precios. En términos generales, la transición *phase-out* alemana enfrenta desafíos significativos debido a su dependencia de importaciones y el aumento del uso de carbón.

⁹ El cierre definitivo se produjo el 15 de abril de 2023, pero estaba planeado su cierre para 2022
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-65291413>

2.2. Geopolítica nuclear en la comunidad internacional aplicada a la Unión

La proliferación de la energía atómica representa un riesgo asociado al desarrollo de programas nucleares con fines militares. Los siguientes casos ilustran cómo la tecnología nuclear aumenta las tensiones regionales. Por el contrario, la Unión Europea ha optado por un enfoque pacífico y cooperativo en materia nuclear. De esta manera, las siguientes cuestiones son un ejemplo para Europa para fortalecer su compromiso con un desarrollo nuclear responsable y seguro. **(Ver Anexo III: Tabla general de las capacidades y programas nucleares de Irán, Arabia Saudí, India, Pakistán y Corea del Norte).**

2.2.a). El caso de India y Pakistán

La rivalidad nuclear entre India y Pakistán es el resultado directo de una compleja historia de tensiones geopolíticas y dinámicas de seguridad regional. Ambos estados desarrollaron capacidades nucleares desde los años 70, aunque con diferentes motivaciones estratégicas. India realizó su primera prueba nuclear en 1974, Operación “Buda Sonriente”¹⁰, bajo el pretexto de fines pacíficos y como respuesta a la amenaza nuclear de China. En contraposición, Pakistán inició su programa nuclear en respuesta directa a India para establecer una disuasión estratégica tras la pérdida de Bangladesh. Finalmente, ambos países declararon oficialmente su capacidad nuclear mediante pruebas públicas. India en mayo de 1998 y Pakistán, en un rápido contraataque, en el mismo mes.

Desde entonces, ambos países han desarrollado y modernizado sus arsenales nucleares, intensificando la carrera armamentística en la región. India se ha centrado en la construcción de una triada nuclear completa, con capacidades de lanzamiento terrestre, aéreo y marítimo. Cuenta con misiles balísticos intercontinentales (ICBM) como el Agni-V, con un alcance superior a 5.000 kilómetros. Esto le permite alcanzar objetivos en toda Asia, incluidas regiones de China. Además, India está desarrollando misiles de crucero y submarinos con capacidad de lanzamiento de misiles nucleares. Por su parte, Pakistán se basa en el desarrollo de armas nucleares tácticas y sistemas de misiles de corto y medio alcance. Su objetivo es contrarrestar la superioridad militar convencional india.

Este enfoque asimétrico está basado en las doctrinas nucleares de ambos países. India mantiene una política de “no primer uso”, lo que implica que solo utilizará armas nucleares en respuesta a un ataque. Por el contrario, Pakistán adopta una postura de “primer uso”, aumentando el riesgo de escalada durante un conflicto. Esta diferencia en las políticas nucleares plantea un entorno altamente volátil. De este modo, la posibilidad de un conflicto incrementa por percepciones de amenazas mutuas y la rapidez en la modernización de los arsenales.

¹⁰ Para comunicar al mundo su capacidad nuclear la India realizó una explosión nuclear controlada. Hasta ese momento se consideraba que la India no tenía las capacidades técnicas suficientes para lograr un manejo tan sofisticado de la energía nuclear: <https://www.bbc.com/mundo/articles/c72p0nez2g1o>

El desarrollo nuclear de Pakistán ha sido facilitado por la adquisición ilícita de tecnología occidental, a través de la red clandestina del científico Abdul Qadeer Khan¹¹. Este material les permitió desarrollar centrifugadoras avanzadas y acelerar su producción de uranio enriquecido. Pakistán también ha mejorado su capacidad de entrega a través de misiles más sofisticados, creando una capacidad nuclear diversificada. Por el contrario, India ha logrado una mayor autonomía en el desarrollo de su infraestructura nuclear. Cuenta con una sólida base tecnológica y científica nacional, a pesar de las sanciones internacionales impuestas tras sus pruebas nucleares.

La relación estratégica de India con Estados Unidos y Rusia es fundamental para contrarrestar el ascenso de China y mantener su ventaja tecnológica sobre Pakistán. La colaboración con Estados Unidos incluye acuerdos de defensa y transferencia de tecnología. Esto permite a India modernizar sus fuerzas armadas y desarrollar sistemas avanzados. Sin embargo, la alianza chino-pakistaní se ha fortalecido y le proporciona asistencia tecnológica y diplomática. Esta relación trilateral desestabiliza el equilibrio estratégico regional y aumenta las tensiones en un entorno de seguridad frágil. La crisis de Pulwama-Balakot (2019) y el lanzamiento accidental de un misil BrahMos (2022) evidencian el riesgo de escalada no intencionada. Además, revelan la fragilidad de los mecanismos de control de crisis entre ambas potencias. En ambas situaciones, la desescalada fue más resultado de factores imprevistos que de una gestión efectiva. Esto evidencia las limitaciones para manejar crisis de alta tensión de forma adecuada y prevenir una escalada nuclear accidental.

Las Naciones Unidas han intentado reducir el riesgo de proliferación nuclear en Asia Meridional con resultados limitados. Las comunicaciones directas entre India y Pakistán son insuficientes para una escalada en conflictos. Las líneas militares y los acuerdos de no atacar instalaciones nucleares no previenen un incidente. Conjuntamente, la seguridad nuclear enfrenta amenazas de terrorismo nuclear y ciberataques.

Las consecuencias de este caso aplicado en Europa serían catastróficas. En la UE hay varios Estados poseedores de armas nucleares, como Francia y Reino Unido. No obstante, una escalada similar como la de India y Pakistán desencadenaría una crisis de seguridad en el continente. La falta de un marco efectivo de diálogo y control de armas podría llevar a una carrera armamentística similar a la que se observa en Asia Meridional. La percepción de amenazas mutuas y la posibilidad de una política de “primer uso” generaría un clima de desconfianza que facilite un conflicto armado. Además, la proximidad geográfica y la interdependencia de los países europeos aumentan el riesgo de escalada involuntaria. Un incidente como un malentendido o un ataque accidental provocaría una respuesta desproporcionada, llevando a un conflicto nuclear. Por ello, es fundamental fortalecer canales de diálogo y establecer medidas de confianza. Acuerdos de no agresión y el intercambio de información sobre sus programas nucleares contribuiría a estabilizar la región.

¹¹ Ingeniero pakistaní que durante una decena de años lideró una red de contrabando de secretos y componentes nucleares. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47523414>

2.2.b) El caso de Arabia Saudí e Irán

La rivalidad nuclear entre Irán y Arabia Saudí es un foco de preocupación geopolítica en Medio Oriente, con implicaciones para la seguridad global. Las motivaciones iraníes son asegurar su defensa, proyectar poder internacional y ganar influencia en la zona, bajo la justificación de un desarrollo tecnológico pacífico. Irán ha acumulado más de 5 toneladas de uranio enriquecido. Esto permite la fabricación de al menos 2 armas nucleares si alcanza una pureza del 90%. Este avance presenta riesgos para la no proliferación nuclear y desajusta el equilibrio estratégico en una región de rivalidades sectarias y políticas. Desde el inicio de su programa nuclear (años 70), Irán combina avances técnicos con un discurso centrado en la disuasión. En 2002, se identificaron instalaciones nucleares no declaradas, Natanz y Arak. Esta situación conllevó sanciones internacionales y representa una amenaza global actual.

El Acuerdo Nuclear de 2015¹² (JCPOA) buscaba frenar el programa nuclear iraní limitando al enriquecimiento de uranio a cambio del levantamiento de restricciones. Sin embargo, la retirada de Estados Unidos (2018) y la reimposición de las sanciones permitieron a Irán retomar su programa nuclear. De hecho, ha alcanzado niveles de enriquecimiento que exceden los umbrales establecidos por el acuerdo. Esto es un riesgo para la estabilidad de la zona y el acceso a rutas energéticas críticas. En este sentido, ambos controlan rutas clave, cuyo bloqueo afectaría gravemente el suministro mundial de petróleo y la estabilidad económica global.

Por su parte, Arabia Saudí ha manifestado su intención de desarrollar un programa nuclear civil, con el fin de añadir 17 gigavatios de capacidad de energía nuclear para 2032. Esta situación busca diversificar la energía del país para depender menos del petróleo y responder a la amenaza que representa la nuclearización de Irán para el equilibrio regional. Se estima que obtendrá capacidades nucleares militares si siente que su seguridad está en peligro antes del desarrollo de su propio programa.

Por otro lado, se involucran otras potencias como Israel, Turquía y Estados Unidos. Buscan evitar que Irán adquiera capacidades nucleares. El desarrollo del programa nuclear y los conflictos *proxy* en Yemen, Siria e Irak aumentan las rivalidades ideológicas y religiosas entre ambas naciones. Esta potencial carrera armamentística nuclear incrementa la inestabilidad en Medio Oriente, con un impacto directo en la seguridad global.

Aplicado a Europa, una escalada de tensiones similares en el continente desestabilizaría el equilibrio de seguridad en la región. Esto conlleva una proliferación nuclear que amenazaría la paz y la estabilidad. Si países europeos se sintieran amenazados por programas nucleares desarrollados por vecinos, éstos llevarían a cabo sus propias capacidades nucleares. Esto implica un incremento del riesgo de un conflicto armado. Además, la posibilidad de que grupos extremistas o actores no estatales accedieran a tecnologías nucleares sería un riesgo para la seguridad pública en Europa. Se produciría una crisis migratoria y aumentarían las cargas sobre los sistemas sociales y económicos europeos. Por otro lado, los intereses

¹² Referencia al acuerdo: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/sanctions-against-iran/jcpoa-restrictive-measures/>

energéticos y comerciales de la UE podrían verse comprometidos, especialmente si los conflictos regionales afectaran las rutas de suministro de petróleo y gas. En definitiva, la rivalidad nuclear entre Irán y Arabia Saudí constituye una amenaza significativa para la estabilidad regional. Asimismo, tiene repercusiones directas en la seguridad y la economía global.

2.2.c) El caso de Corea del Norte

El programa nuclear de Corea del Norte ha avanzado gracias a alianzas estratégicas y transferencias tecnológicas clandestinas. El país ha realizado seis pruebas nucleares y ha optimizado sus instalaciones de enriquecimiento de uranio. El científico paquistaní Abdul Qadeer Khan jugó un papel clave en este desarrollo. Khan robó tecnología nuclear occidental, facilitando el acceso a centrifugadoras avanzadas y material fisible a países como Corea del Norte. A pesar de las sanciones, el régimen sigue adquiriendo componentes mediante redes de empresas ficticias y operaciones de espionaje.

El primer reactor nuclear norcoreano fue suministrado por la URSS durante la expansión comunista. Aunque la caída de la Unión Soviética afectó al país, Rusia y China han mantenido su apoyo en décadas recientes. Ambos países continúan proporcionando tecnología, armamento y respaldo diplomático frente a la influencia de Japón, Corea del Sur y Estados Unidos en la región. Irán también ha intercambiado tecnología nuclear con Corea del Norte. Se estima que este intercambio incluye misiles balísticos a cambio de conocimientos nucleares, replicando el patrón de cooperación entre Irán y Rusia. Conjuntamente, el régimen ha perfeccionado su capacidad de ciber espionaje para robar tecnología nuclear y militar de Occidente. Emplea estas tácticas para superar las limitaciones impuestas por su aislamiento internacional. Corea del Norte ha logrado producir armamento avanzado que no podría haber desarrollado por sí misma, maximizando los recursos obtenidos de actores externos.

La capacidad balística de Corea del Norte es considerable. Posee misiles balísticos intercontinentales (ICBM) capaces de alcanzar territorio estadounidense¹³. Estas capacidades fortalecen la posición disuasiva del país. El Centro de Investigación Nuclear de Yongbyon tiene tres reactores que producen electricidad y procesan plutonio para uso militar. Corea del Norte justifica su programa nuclear bajo el pretexto de seguridad energética, aunque su objetivo final es militar.

A nivel internacional, el Consejo de Seguridad de la ONU ha prohibido el desarrollo de armas nucleares y misiles en Corea del Norte. Sin embargo, Rusia y China han bloqueado nuevas sanciones, priorizando sus intereses en Asia Oriental. Corea del Norte no puede competir con Corea del Sur o Estados Unidos en términos económicos, diplomáticos y militares. Por ello, utiliza su programa nuclear como herramienta de supervivencia. Las sanciones han reforzado su dependencia de Rusia, China e Irán, ampliando sus alianzas estratégicas.

¹³ <https://www.bolsamania.com/noticias/internacional/corea-norte-misil-intercontinental-llegar-eeuu-15628630.html>

Aplicado a la Unión Europea, el impacto de las tácticas norcoreanas sería profundamente destabilizador. La adquisición clandestina de tecnología nuclear mediante redes de espionaje o alianzas con estados sancionados aumentaría el riesgo de una carrera armamentística. La cooperación con actores como Rusia e Irán erosionaría la confianza entre los Estados miembros de la UE y se comprometería la seguridad colectiva. La capacidad de ciber espionaje dirigida a la energía nuclear representaría una amenaza directa para la infraestructura crítica europea. Además, la UE enfrentaría un aislamiento diplomático y económico si un Estado miembro desarrollase capacidades nucleares unilateralmente. Las sanciones internacionales, la pérdida de credibilidad en la OTAN y la desconfianza entre los países debilitaría las alianzas clave. Esto no solo afectaría a la seguridad militar, sino también a la estabilidad económica y tecnológica del continente.

En conclusión, el caso norcoreano demuestra los riesgos de la proliferación nuclear y el acceso a tecnología avanzada por parte de países aislados. Corea del Norte ha conseguido mantener su programa nuclear mediante alianzas y espionaje, lo que incrementa la inestabilidad global. El desarrollo de tecnología nuclear y balística representa un riesgo considerable para la seguridad militar, energética y tecnológica de Occidente. De este modo, adoptar una postura similar es contraproducente para los valores de integridad y prosperidad europea. El compromiso de las estructuras de seguridad colectiva e interdependencia económica estarían en un riesgo elevado.

3. ESCENARIOS

A continuación, se detallan algunos posibles escenarios prospectivos relacionados con el futuro de la energía nuclear en la Unión Europea. Para definir estos escenarios, se han considerado factores como la seguridad energética, la transición verde y las divergencias internas, además del entorno geopolítico actual. Estos escenarios abarcan los posibles enfoques que la UE y sus estados miembros podrían adoptar según sus objetivos climáticos y de seguridad energética.

3. 1. Desarrollo del Escenario: "Expansión Nuclear Coordinada en la UE"

3.1.a) Delimitación de Parámetros Básicos

En este escenario, la UE busca reducir su dependencia de combustibles fósiles y fortalecer su autonomía energética mediante una expansión coordinada de la energía nuclear. La UE tiene como objetivo avanzar hacia un futuro energético más seguro y sostenible, gestionando la incertidumbre a través de una toma de decisiones informada y flexible. China es líder en el desarrollo de reactores modulares pequeños (SMR) y reactores de Generación IV. Han implementado estos reactores en proyectos piloto y cuentan con una experiencia acumulada en diseño, construcción y operación de este tipo de plantas, además de haber adquirido habilidades en ingeniería de precisión, control de costos y operación segura de los SMR. En este escenario, la UE podría aprovechar el *know-how* chino para acelerar el desarrollo e implementación de este tipo de reactores.

Este escenario contempla:

- Colaboración y financiamiento europeo para el desarrollo de infraestructura nuclear, incluidos reactores SMR y plantas de Generación IV.
- Reducción de dependencia energética externa para reducir su posición de vulnerabilidad ante conflictos externos y asegurar la carga base de energía.
- Gestión de tensiones internas entre países a favor y en contra de la energía nuclear, con el fin de mantener una estrategia energética cohesionada.

3.1.b) Análisis Estratégico del Presente

Para situar este escenario, se realiza un análisis del contexto actual y los actores que afectan la política energética de la UE:

- Actores relevantes:
 - Gobiernos nacionales: Influencian la adopción de energía nuclear según políticas internas y compromisos ambientales.
 - Organizaciones supranacionales: Organismos como la Comisión Europea y el Parlamento de la UE desempeñan un papel central en la coordinación, legislación y financiamiento en materia energética.
 - Actores industriales y tecnológicos: Empresas y consorcios de energía nuclear, institutos de investigación y agencias de seguridad que desarrollan y mantienen infraestructura nuclear.
 - Organizaciones medioambientales y de la sociedad civil: Influyen en la opinión pública y pueden frenar el desarrollo nuclear.
- Factores influyentes:
 - Dependencia energética de la UE respecto al gas y petróleo rusos y de Medio Oriente.
 - Objetivos climáticos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en concordancia con el Acuerdo de París.
 - Avances tecnológicos en energía nuclear, que aumentan la seguridad y mejoran la eficiencia en el tratamiento de residuos nucleares.
 - Inestabilidad geopolítica, especialmente en relación con el conflicto en Ucrania, que subraya la importancia de la independencia energética.

3.2.c) Indicadores de Alerta Temprana

Para anticipar posibles cambios en este escenario, se establecen los siguientes indicadores de alerta temprana:

- Variaciones en la aceptación pública hacia la energía nuclear, mediante encuestas y estudios de opinión.
- Cambios en la inversión en energía nuclear por parte de la UE o fondos privados, que indican el nivel de compromiso a largo plazo.

- Evolución en la adopción de tecnología nuclear en los Estados miembros, específicamente en reactores de Generación IV y SMR.
- Fluctuaciones en el precio de los combustibles fósiles y su impacto en las políticas energéticas de la UE.

3.3.d) Identificación de Drivers

Tendencias estables:

- Necesidad de reducir la dependencia de energías fósiles por razones tanto medioambientales como de seguridad estratégica.
- Compromiso continuo con la neutralidad de carbono. La UE ha formalizado objetivos que obligan a una transición energética limpia.
- Avance de la tecnología nuclear: Innovaciones en reactores modulares pequeños (SMR) y de Generación IV que mejoran la seguridad y eficiencia de la energía nuclear.
- Incertidumbres clave:
 - Opinión pública y aceptación política de la energía nuclear: Existe una polarización dentro de la UE, con países que apoyan la energía nuclear y otros, como Alemania y Austria que se muestran contrarios a este tipo de energía.
 - Disponibilidad y seguridad de recursos financieros: La inversión en infraestructura nuclear es considerable, por lo que es clave mantener el apoyo financiero y asegurar la sostenibilidad de los fondos.
 - Estabilidad geopolítica: Los conflictos que afectan los precios y la disponibilidad de combustibles fósiles evidencian la necesidad de fuentes de energía alternativas.

3.3.e) Análisis de Implicaciones

- Colaboración Regional y Financiamiento: Para fomentar la seguridad energética y reducir el tiempo de adopción, es fundamental que la UE desarrolle mecanismos de financiamiento robustos. Esto facilita la construcción de nuevas plantas y la modernización de las existentes, promoviendo la innovación y la estandarización de prácticas de seguridad.
- Aceptación de Energía Nuclear: La aceptación política y pública de la energía nuclear es crucial para avanzar. El éxito del escenario depende en gran medida de que los Estados miembros alineen sus posturas sobre la inclusión de la nuclear en la taxonomía verde de la UE.
- Impacto de la Reducción de Dependencia: Aumentar la capacidad nuclear reduce el consumo de gas y petróleo importado, protegiendo a la UE de fluctuaciones de precios y crisis externas, lo cual fortalece la estabilidad económica y energética del continente.

3.2. Desarrollo del Escenario: "Desacuerdo Prolongado y Política Fragmentada. Foco en energías renovables"

3.2.a) Delimitación de Parámetros Básicos

La falta de consenso en la UE con respecto a la inclusión de la energía nuclear en la transición energética lleva a una fragmentación de políticas energéticas. Mientras algunos países como Francia continúan con el desarrollo de energía nuclear, otros apuestan únicamente por otro tipo de energías como las renovables. Esta división estratégica genera desigualdades energéticas y afecta a la cohesión de la política climática de la UE. El escenario "Desacuerdo Prolongado y Política Fragmentada" representa una situación de estancamiento en la UE, con políticas divergentes que afectan los objetivos comunes de descarbonización y seguridad energética. La falta de consenso en torno a la energía nuclear limita la efectividad de la transición verde, exponiendo a la UE a crisis de abastecimiento energético y dificultando su papel de liderazgo en la lucha contra el cambio climático.

3.2.b) Análisis Estratégico del Presente

- Actores relevantes:
 - Estados miembros de la UE divididos entre pro-nucleares (Francia, Polonia) y antinucleares (Alemania, Austria).
 - Instituciones de la UE (Comisión Europea, Parlamento), que enfrentan desafíos para coordinar una política unificada.
 - Grupos medioambientales y organizaciones influyentes en la opinión pública y en las políticas energéticas nacionales.
- Factores influyentes:
 - Diferencias políticas internas en la UE sobre la energía nuclear y la taxonomía verde.
 - Avances en tecnologías de energías renovables en países antinucleares, lo cual aumenta su dependencia de fuentes intermitentes.
 - Dependencia de recursos energéticos externos debido a la falta de un sistema energético unificado, lo cual genera vulnerabilidad ante crisis externas.

3.2.c) Indicadores de Alerta Temprana

Se establecen indicadores de alerta temprana para monitorear cambios que puedan modificar el rumbo de este escenario:

- Decisiones sobre la taxonomía verde de la UE y el estatus de la energía nuclear.
- Aumento de precios y dependencia de importaciones de energía fósil en países antinucleares.
- Desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento y generación de renovables en países anti-nucleares que busquen autosuficiencia energética.
- Tensiones políticas entre Estados miembros respecto a la política energética y sus efectos en la economía interna.

3.2.d) Identificación de Drivers

- Tendencias estables:
 - Divergencia de políticas energéticas en la UE, con países que optan por diferentes enfoques estratégicos en materia energética.
 - Compromisos climáticos de descarbonización que todos los Estados miembros deben cumplir, pero que resultan más difíciles sin una política común y cohesionada.
 - Incremento de la dependencia de energías fósiles en algunos países.
- Incertidumbres clave:
 - Posibilidad de futuras crisis energéticas o geopolíticas: La dependencia externa deja a Europa expuesta, y una crisis podría alterar las políticas energéticas nacionales.
 - Presiones económicas y de mercado, como los altos costos de almacenamiento energético para países que dependen de renovables intermitentes.
 - Capacidad de los países pro-renovables para alcanzar la autosuficiencia energética: Si lograsen avances significativos, podrían influir a otros en el continente a abandonar la nuclear.

3.2.e) Análisis de Implicaciones

- Bloqueo en la Taxonomía Verde: Al excluir la energía nuclear de la clasificación de actividades sostenibles, países pro-nucleares como Francia y Polonia ven limitada su capacidad de financiar proyectos nucleares con apoyo de la UE, lo cual afecta el desarrollo de esta tecnología en el continente.
- Desigualdad Energética y Tensión Geopolítica Interna: La falta de cohesión en la política energética europea conduce a un mercado desigual. Los países antinucleares deben recurrir a fuentes fósiles importadas durante períodos de baja producción renovable, lo que genera tensiones y precios de energía elevados, especialmente durante crisis o picos de demanda.
- Impacto en los Objetivos de Descarbonización: La fragmentación impide alcanzar las metas climáticas de la UE. Los países antinucleares enfrentan dificultades para cubrir la demanda sin recurrir a combustibles fósiles en momentos críticos, lo cual incrementa las emisiones a nivel regional.

3.3. Desarrollo del Escenario: "Innovación Nuclear y Transición Híbrida"

3.3.a) Delimitación de parámetros básicos

En este escenario, la Unión Europea opta por un **enfoque híbrido** que integra la energía nuclear y las energías renovables. Esta combinación permite acelerar la transición energética de manera sostenible, aprovechando la flexibilidad y eficiencia de los reactores SMR y de Generación IV para cubrir la demanda base de electricidad, complementada con energías renovables en función de las condiciones climáticas.

Este escenario representa una opción viable para la UE en su camino hacia la descarbonización, combinando tecnologías nucleares innovadoras con energías renovables para lograr una **transición energética segura y resiliente**, permitiendo a la UE avanzar en sus compromisos climáticos sin depender de fuentes fósiles externas y reforzando su liderazgo en innovación energética. Sin embargo, el éxito de la estrategia híbrida dependerá de la aceptación política y social de la energía nuclear y de la capacidad de la UE para asegurar el desarrollo coordinado de estos dos tipos de energía.

3.3.b) Análisis estratégico del presente

- Actores relevantes:
 - Países pro-nucleares, como Francia y Polonia.
 - Países antinucleares, como Alemania, que podrían participar solo en la integración de renovables y en proyectos híbridos bajo condiciones de seguridad estrictas.
 - Empresas energéticas y de tecnología nuclear, que desempeñan un papel crucial en la investigación y desarrollo (I+D) de tecnologías nucleares innovadoras.
 - Instituciones de la UE, que deben asegurar una coordinación y financiamiento eficaz para implementar esta transición híbrida.
- Factores influyentes:
 - Avances tecnológicos en SMR y Generación IV, **que** hacen posible una generación nuclear más flexible y segura.
 - Marco regulatorio europeo, que debe adaptarse para incorporar tecnologías nucleares y renovables en un esquema híbrido.
 - Demandas de reducción de emisiones y la necesidad de una red de suministro resiliente frente a crisis externas.

3.3.c) Indicadores de Alerta Temprana

Los siguientes indicadores se utilizan para monitorear y anticipar cambios que puedan afectar el desarrollo de este escenario:

- Aumento en la inversión y adopción de SMR y reactores de Generación IV en la UE.
- Subsidios o incentivos europeos para proyectos híbridos de energía nuclear y renovable.
- Desarrollo de regulaciones en seguridad nuclear específicas para los SMR y la gestión de residuos en Generación IV.
- Actitudes públicas y decisiones políticas de países **antinucleares** en relación con proyectos híbridos y tecnologías nucleares innovadoras.

3.3.d) Identificación de Drivers

- Tendencias estables:
 - Demanda creciente de energía limpia y estable debido a los compromisos climáticos y al aumento en el consumo eléctrico.
 - Compromiso con la descarbonización, que obliga a los países de la UE a reducir sus emisiones de CO₂ y depender menos de combustibles fósiles.
 - Innovación en gestión de residuos y seguridad nuclear, especialmente con el avance de los reactores de Generación IV, que pueden reutilizar ciertos residuos.
- Incertidumbres clave:
 - Coste y velocidad de implementación de los SMR y reactores de Generación IV: La inversión inicial en I+D es elevada, y la rapidez de adopción dependerá del financiamiento y de los avances tecnológicos.
 - Resistencia política y social a la energía nuclear en algunos países: Los países antinucleares pueden seguir mostrando oposición, lo cual podría afectar la cohesión en la implementación de una política común.
 - Capacidad de desarrollar y aplicar regulaciones de seguridad avanzadas: Esto dependerá de los avances en tecnologías de seguridad y la capacidad de asegurar la protección ambiental en todos los proyectos nucleares.

3.3.e) Análisis de Implicaciones

Los drivers identificados muestran las potenciales implicaciones de este escenario para la UE y su sistema energético:

- Coexistencia con Energías Renovables: La política híbrida crea una red de suministro más flexible y resiliente. La energía nuclear cubre la demanda base, mientras que las renovables, principalmente la solar y eólica, se maximizan cuando las condiciones lo permiten, creando una combinación que reduce la dependencia de importaciones de energía fósil.
- Gestión Innovadora de Residuos y Seguridad: Las tecnologías de Generación IV permiten reutilizar ciertos tipos de residuos, lo que reduce la cantidad de desechos radioactivos y alivia preocupaciones ambientales de países como Alemania. Esto mejora la opinión social con respecto a la energía nuclear en el ámbito de sostenibilidad, mitigando la resistencia de algunos países y aumentando la aceptación pública.

4. AVISOS ESTRATÉGICOS

A continuación, se describen de manera detallada los indicadores o avisos estratégicos más relevantes para poder adaptar la estrategia frente a los posibles escenarios marcados. Estos permitirán llevar a cabo medidas alineadas a las necesidades que los objetivos definidos precisen, fortaleciendo la resiliencia y ventaja competitiva.

4.1 Almacenamiento de Residuos Nucleares

La gestión segura y sostenible de los residuos nucleares se constituye como un desafío crítico en la estrategia energética de la UE, especialmente en el contexto en el cual la expansión de la energía nuclear se percibe como un posible objetivo clave para la descarbonización. La adopción de almacenamiento geológico profundo¹⁴, como el de Onkalo en Finlandia, es una de las soluciones más avanzadas para abordar este desafío y reducir los riesgos a largo plazo de los residuos de alta radiactividad, por lo que se constituye como una alternativa segura para proteger el medio ambiente y la salud pública.

Este indicador mide el número de proyectos de almacenamiento geológico profundo en marcha en Europa y evalúa la aceptación pública de dichas instalaciones. La medición abarca tanto la cantidad de proyectos aprobados y en desarrollo, como el nivel de apoyo o resistencia comunitaria, reflejado en encuestas de percepción, nivel de participación en audiencias públicas y aceptación de las comunidades cercanas.

El objetivo de indicador es evaluar el progreso en la implementación de soluciones permanentes para el almacenamiento seguro de residuos nucleares y la efectividad de las campañas de concienciación comunitaria. Esto implica analizar no solo el avance técnico de estos proyectos, sino también la adaptación de las estrategias de comunicación y participación ciudadana, esenciales para asegurar el respaldo social a largo plazo.

La aceptación pública es un factor de gran relevancia e importancia estratégica para la viabilidad de proyectos de almacenamiento profundo, especialmente en países con un alto nivel de desconfianza hacia la energía nuclear. La medición constante de este indicador permite identificar necesidades de ajuste en las estrategias de comunicación y educación para mitigar las preocupaciones sociales, así como contribuir a la construcción de un marco regulatorio europeo sólido en línea con los estándares de seguridad y sostenibilidad exigidos en la gestión de residuos nucleares.

4.2. Inversión en I+D de Reactores Avanzados (SMR y Generación IV)

Este indicador nos permite hacer una medición de las cantidades anuales de inversión en tecnologías nucleares avanzadas, específicamente en investigación y desarrollo de reactores

¹⁴ Por muchos expertos se los centros de almacenamiento geológico profundo se consideran los más seguros en la gestión de los residuos nucleares, <https://www.csn.es/almacenamiento-geologico-profundo>

modulares pequeños (SMR) y de Generación IV. Estos reactores representan la próxima evolución en seguridad, eficiencia y sostenibilidad nuclear.

La inversión requiere una evaluación tanto en términos de financiamiento público, a través de programas de la UE y subvenciones de los Estados miembros, así como de capital privado, que incluye inversiones de empresas energéticas y consorcios industriales comprometidos con la innovación nuclear.

El objetivo de monitorización este indicador de alerta temprana es determinar el compromiso a largo plazo de la UE y los Estados miembros con la innovación en energía nuclear, la autonomía tecnológica de Europa y su competitividad global en el sector. Este indicador permite evaluar si el nivel de inversión en reactores avanzados se constituye como suficiente para fomentar la independencia energética, reducir la dependencia de tecnologías extranjeras y posicionar a la UE como un posible líder en tecnologías nucleares avanzadas.

La inversión en SMR y reactores de Generación IV es de gran importancia estratégica y es fundamental para mejorar la seguridad energética y reducir las emisiones de carbono, ya que estas tecnologías ofrecen soluciones más adaptables y sostenibles que los reactores tradicionales. Los SMR permiten una generación más descentralizada y flexible, mientras que los reactores de Generación IV, con su capacidad de gestionar residuos de forma más eficiente, fortalecen la sostenibilidad del ciclo nuclear. Además, este indicador permite llevar a cabo la identificación de áreas clave de colaboración intergubernamental y de participación del sector privado, vitales para superar los desafíos técnicos y financieros asociados al desarrollo de nuevas tecnologías nucleares.

Para su monitorización y medición deben atenderse y analizarse los fondos asignados anualmente a proyectos de investigación en SMR y Generación IV, el crecimiento en inversión privada y el desarrollo de políticas de incentivo para I+D. El nivel de inversión refleja el interés, la predisposición y participación activa de los Estados miembros hacia la innovación nuclear.

4.3. Índice de Confianza Pública en la Energía Nuclear

Conocer el nivel de confianza pública sobre la energía nuclear es imprescindible. Para ello se han de recopilar datos mediante herramientas que permitan medir la percepción de seguridad y beneficios de esta fuente de energía. Los datos se recopilan de manera segmentada, por país, edad y nivel educativo, para obtener una visión detallada de la aceptación o rechazo hacia la energía nuclear entre diferentes grupos de la población europea.

El objetivo será medir la evolución de la aceptación social de la energía nuclear en Europa, identificar resistencias y adaptar las estrategias de comunicación y sensibilización según los grupos sociales y las regiones que muestran mayor escepticismo. Este indicador de gran importancia y fundamental para ajustar la narrativa sobre los beneficios de la energía nuclear, permitiendo que estos se aborden de manera correcta a las preocupaciones de la ciudadanía y fortaleciendo la base de apoyo social para el uso de esta tecnología.

La percepción pública de la energía nuclear es de importancia estratégica ya que tiene efecto directo en la viabilidad de su expansión en la UE. Una mayor aceptación social contribuye a una implementación más fluida de proyectos nucleares y a una reducción de barreras políticas, mientras que la resistencia social puede ralentizar o bloquear el desarrollo de la infraestructura nuclear. Este indicador permite a los responsables de políticas identificar dónde es preciso aumentar los esfuerzos de educación y divulgación, especialmente en aspectos relacionados con la seguridad, la gestión de residuos y los beneficios de la nuclear en la reducción de emisiones de carbono.

Este indicador de alerta temprana requiere ser monitoreado y medido mediante encuestas de opinión públicas a nivel nacional y regional, permitiendo una evaluación continua de la confianza pública y una rápida adaptación en las estrategias de comunicación y participación comunitaria. Los resultados servirán de guía en el diseño de campañas educativas, así como en el enfoque en temas específicos que abordan las preocupaciones del público, fortaleciendo así la legitimidad de la energía nuclear como parte del mix energético europeo.

4.4. Diversificación de fuentes de suministro de uranio y tecnologías clave

El indicador mide la proporción de importaciones de uranio y tecnologías nucleares que provienen de una variedad de proveedores en comparación con fuentes tradicionales. La diversificación de la cadena de suministro de materiales nucleares se evalúa considerando tanto la cantidad de proveedores alternativos como su distribución geográfica. El objetivo es reducir la dependencia de un número limitado de fuentes y los efectos negativos que esto puede conllevar.

El principal objetivo es aumentar la resiliencia y la autosuficiencia de la UE en el suministro de materiales nucleares para así fortalecer la seguridad energética al reducir las dependencias estratégicas de un solo proveedor o región. Este indicador permite identificar la necesidad de establecer relaciones comerciales con nuevos socios y de fomentar la producción europea en tecnologías clave.

La diversificación de los suministros de uranio y tecnologías nucleares es fundamental y de elevada importancia estratégica para asegurar la continuidad de los proyectos nucleares y minimizar los riesgos y desafíos geopolíticos o de mercado que puedan afectar la disponibilidad de estos materiales. La dependencia de pocos proveedores representa una fuerte vulnerabilidad en la cadena de suministro, especialmente en contextos de inestabilidad global. Este indicador permite a la UE fortalecer su seguridad energética y avanzar hacia una mayor autosuficiencia, disminuyendo el riesgo de interrupciones en suministros críticos.

El indicador deberá ser monitorizado y medido a través de la revisión anual de los países y empresas proveedores de uranio y tecnologías nucleares, y el análisis de acuerdos de importación diversificados. El progreso en este indicador también se mide a través de la implementación de políticas y acuerdos que fomenten una red de proveedores segura y diversificada, asegurando un suministro estable y reduciendo la exposición de Europa a posibles conflictos geopolíticos o restricciones comerciales.

4.5. Número de nuevos reactores nucleares en construcción o planeación activa

El indicador de número de nuevos reactores nucleares en construcción o con planeación activa permite saber la cantidad de reactores de pequeño y mediano tamaño (SMR) y de generación IV que se encuentran en etapas de planificación o construcción en Europa con menores costes que los tradicionales (anexo V). Se evalúa tanto el número total de proyectos como su ubicación geográfica, el tipo de tecnología utilizada y el estado de avance de cada uno. La atención se centra en la adopción de tecnologías nucleares innovadoras que prometen ser más seguras, eficientes y sostenibles en comparación con las generaciones anteriores.

El objetivo principal del indicador es atender a la expansión real de las tecnologías avanzadas nucleares en la UE. Para ello se debe identificar en qué países se están implementando estos proyectos y cómo contribuyen al fortalecimiento de la infraestructura energética nuclear. Esto es crucial para cubrir la demanda base de energía, especialmente en un contexto de transición energética y reducción de emisiones de carbono. Además, se pretende fomentar una mayor inversión en investigación y desarrollo, así como en la formación de personal capacitado para operar estas nuevas tecnologías.

La construcción y planificación de reactores nucleares de nueva generación es fundamental para diversificar la matriz energética de la UE y para cumplir con los objetivos de sostenibilidad. Este indicador permite a los responsables políticos evaluar el progreso hacia una energía nuclear moderna y segura, alineada con las metas climáticas de la región.

La monitorización y medición del indicador debe llevarse a cabo a través de la recopilación de datos de agencias nucleares nacionales, informes de empresas energéticas y organismos internacionales. Se deben realizar revisiones anuales para evaluar el avance de los proyectos en construcción y planificación, así como su impacto en el contexto energético general. Además, han de analizarse los obstáculos que puedan estar impidiendo el desarrollo de estos reactores, como cuestiones regulatorias, financiamiento y aceptación pública. El progreso en este indicador también debe medirse a través de la identificación de colaboraciones internacionales y la integración de las tecnologías nucleares avanzadas en las políticas energéticas de los Estados miembros de la UE.

4.6. Taxonomía Verde para la energía nuclear

Este indicador mide el número de Estados miembros de la Unión Europea que han incorporado la energía nuclear en su taxonomía verde o que han implementado políticas específicas para facilitar su inclusión en el financiamiento sostenible. Se evalúa la adopción de marcos regulatorios y directrices que reconozcan el papel de la energía nuclear en la transición hacia un sistema energético más sostenible y bajo en carbono.

El objetivo principal de este indicador es analizar la aceptación política de la energía nuclear como una fuente de energía sostenible. Esto incluye evaluar la disposición de los Estados miembros para integrar la energía nuclear en sus políticas de financiamiento verde, así como

la disponibilidad de recursos financieros para proyectos nucleares. La inclusión de la energía nuclear en la taxonomía verde es crucial para asegurar que los proyectos nucleares puedan acceder a inversiones sostenibles y fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías en este sector.

Es de importancia estratégica la implementación de una taxonomía verde que incluya la energía nuclear para abordar los desafíos del cambio climático y la transición energética. Reconocer la energía nuclear como una fuente sostenible puede facilitar la financiación de proyectos que contribuyan a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la diversificación de la matriz energética. Además, la aceptación política de la energía nuclear puede mejorar la estabilidad y la seguridad del suministro energético en Europa, permitiendo un enfoque más equilibrado y estratégico en la lucha contra el cambio climático.

La monitorización y seguimiento de este indicador debe llevarse a cabo a través de la recopilación de datos de informes gubernamentales, directrices de la UE y análisis de políticas de financiamiento sostenible. Se deben llevar a cabo revisiones periódicas para evaluar el progreso en la incorporación de la energía nuclear en las taxonomías verdes de los Estados miembros, así como la cantidad de proyectos nucleares que reciben financiamiento sostenible. Además, de analizarse las barreras políticas, económicas y sociales que podrían afectar la aceptación de la energía nuclear y su acceso al financiamiento verde. Este indicador servirá como una herramienta para identificar tendencias en la política energética y para fomentar el diálogo entre los Estados miembros sobre el papel de la energía nuclear en la sostenibilidad.

4.7. Índice de reducción de emisiones asociadas a la energía nuclear en el mix energético

Mediante este indicador se puede cuantificar la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) evitado, expresada en toneladas, gracias al uso de energía nuclear en comparación con fuentes fósiles. El cálculo se realiza considerando la participación de la energía nuclear en el mix energético de cada país, así como la cantidad de electricidad generada por fuentes fósiles que habría sido reemplazada por energía nuclear. Este enfoque permite establecer una correlación clara entre el uso de energía nuclear y las emisiones de gases de efecto invernadero.

El objetivo principal de este indicador es evaluar el impacto de la energía nuclear en los objetivos de descarbonización de la UE. Los datos concretos sobre las emisiones evitadas permiten entender mejor el papel de la energía nuclear en la lucha contra el cambio climático y en la transición hacia un sistema energético más sostenible.

La reducción de emisiones asociadas al uso de energía nuclear es fundamental y de elevada importancia estratégica para alcanzar los compromisos climáticos internacionales y las metas de sostenibilidad establecidas por la UE. Este indicador no solo muestra el papel de la energía nuclear en la reducción y ayuda frente al cambio climático, sino que además resalta la importancia en la estabilidad del suministro energético, al permitir que los países reduzcan su dependencia de combustibles fósiles. En suma, los datos sobre emisiones evitadas pueden ser una herramienta valiosa para la comunicación y promoción de la energía nuclear ante el público y los responsables políticos, contribuyendo a mejorar su percepción y aceptación.

El indicador debe ser monitorizado y medido a través de la recopilación de datos sobre la producción de electricidad a partir de energía nuclear y fósil en los Estados miembros, así como informes de emisiones de CO₂. Se deben realizar análisis anuales para calcular la cantidad total de CO₂ evitado, permitiendo comparaciones entre países y períodos. Además, han de considerarse factores como el crecimiento de la capacidad nuclear y la evolución de las políticas energéticas, proporcionando un panorama completo del impacto de la energía nuclear en la descarbonización del *mix* energético europeo.

5. OPORTUNIDADES ESTRATÉGICAS PARA LA UE

La Unión Europea enfrenta un contexto de transición energética y crisis de suministro¹⁵ en el cual la energía nuclear adquiere un papel estratégico. La necesidad de asegurar un suministro de energía estable y autónomo pone en valor el potencial de la energía nuclear para alcanzar objetivos de neutralidad de carbono y estabilidad energética. Europa, con infraestructura consolidada en países como Francia y liderazgo en innovación nuclear, cuenta con diversas oportunidades estratégicas en este sector, incluyendo liderazgo en tecnología, exportación de *know-how*, integración de una red energética interconectada, posible clasificación de la energía nuclear como verde y un desarrollo sólido en gestión de residuos nucleares.

5.1 Liderazgo en innovación tecnológica y *know-how* nuclear

El liderazgo en innovación tecnológica nuclear presenta una oportunidad significativa para Europa. Tecnologías avanzadas como los reactores modulares pequeños (SMR) y la energía de fusión tienen un desarrollo creciente, con proyectos destacados como ITER¹⁶ en Francia. La investigación y desarrollo nuclear es clave para mantener competitividad frente a actores globales como China, Estados Unidos y Rusia. Este liderazgo no solo fortalece la capacidad industrial y tecnológica europea, sino que también contribuye a la seguridad energética europea y de sus aliados.

Europa cuenta con *know-how* nuclear, especialmente en Francia, que ha desarrollado un modelo estandarizado de reactores de agua a presión y genera el 70% de su electricidad a partir de energía nuclear. Este conocimiento acumulado posiciona a la UE para exportar tecnología y experiencia nuclear. No obstante, la exportación enfrenta desafíos regulatorios y de percepción pública. La UE puede contrarrestar estos obstáculos promoviendo transferencias de tecnología segura y sostenible, incrementando su influencia geopolítica y contribuyendo a la estabilidad energética global.

¹⁵ La crisis de suministro proviene como se ha comentado en puntos anteriores de la guerra en Ucrania y de los problemas en cadenas de suministros (mar Rojo).

¹⁶ El ITER se considera el experimento de fusión más grande del mundo y promete lograr grandes avances en el futuro de la energía nuclear <https://www.iaea.org/es/energia-de-fusion/iter-el-experimento-de-fusion-mas-grande-del-mundo>

5.2 Integración y clasificación energética-legal

La integración de una red energética resiliente es clave para una Europa menos dependiente de combustibles fósiles importados. Una red interconectada, apoyada en la energía nuclear para compensar la intermitencia de las renovables, resulta estratégica en crisis energéticas. Francia, el principal exportador neto de electricidad en Europa, podría proporcionar estabilidad y capacidad de respuesta ante fluctuaciones del suministro, fortaleciendo la autonomía energética europea.

La clasificación de la energía nuclear como verde en la taxonomía de la UE facilita el acceso a financiamiento para proyectos nucleares, incentivando la inversión. Este tema es controversial entre los Estados miembros, ya que mientras algunos países, como Francia, abogan por su inclusión, otros, como Alemania y Austria, se oponen. La aprobación podría impulsar el financiamiento de infraestructura nuclear y acelerar la reducción de emisiones en la UE, siempre y cuando se establezcan regulaciones adicionales para mitigar su impacto ambiental.

En este sentido, el marco regulatorio¹⁷ sigue siendo un desafío debido a las diferencias entre Estados miembros. La UE necesita una política unificada que facilite la inversión y garantice altos estándares de seguridad en toda Europa. La regulación de proyectos SMR y reactores de Generación IV requiere un enfoque coordinado, lo cual maximizaría la competitividad europea y ofrecería un modelo seguro y sostenible en el ámbito global.

5.3 Gestión de residuos y cooperación internacional

Europa puede liderar en soluciones de gestión de residuos nucleares, especialmente con el modelo de ciclo cerrado francés, que reduce el volumen de residuos mediante reciclaje. Aunque el almacenamiento de residuos de alta actividad sigue siendo un reto, la UE puede avanzar en tecnologías de reciclaje y soluciones de almacenamiento geológico. Estos esfuerzos permitirían a la UE ser un referente en sostenibilidad nuclear y establecer estándares de seguridad exportables a otras regiones.

La cooperación internacional en I+D es crucial para avanzar en tecnologías nucleares, como los reactores de cuarta generación, y consolidar el liderazgo europeo en tecnología de fusión. Ejemplo de esta cooperación es el Acuerdo de cooperación entre la UE y el Reino Unido en el ámbito de los usos seguros y pacíficos de la energía nuclear¹⁸.

¹⁷ Diversos expertos llevan tiempo recomendando una relajación de la regulación en la UE para ganar competitividad <https://cincodias.elpais.com/companias/2024-09-13/europa-necesita-relajar-la-regulacion-para-ganar-competitividad.html>

¹⁸ Referencia al acuerdo: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/relations-united-kingdom/eu-uk-trade-and-cooperation-agreement/eu-uk-agreement-cooperation-safe-and-peaceful-uses-nuclear-energy_es

5.4 Conclusiones

A pesar de los desafíos con actores externos como China, las alianzas con otros países permitirían a Europa reducir los tiempos de implementación de nuevas tecnologías y mejorar su competitividad en el sector nuclear. La percepción pública de la energía nuclear sigue siendo un obstáculo en Europa, influenciada por incidentes pasados. Para mejorar la aceptación social, la UE necesita sensibilizar sobre los beneficios y avances en seguridad nuclear, promoviendo transparencia en la gestión de residuos y la adopción de tecnologías más seguras.

La dependencia europea de materiales críticos, como el uranio, plantea un desafío de seguridad energética. Diversificar proveedores y desarrollar capacidades internas de enriquecimiento y reciclaje ayudaría a reducir la dependencia de importaciones de regiones geopolíticamente inestables.

La competencia en el mercado energético global es intensa, con Estados Unidos, China y Rusia como competidores destacados. Europa podría establecer un consorcio de empresas y centros de investigación para coordinar el desarrollo y comercialización de tecnología nuclear, aumentando su penetración en mercados emergentes y consolidando su influencia.

La ciberseguridad en el sector nuclear es otro desafío estratégico. Las instalaciones nucleares son infraestructuras críticas vulnerables a ciberataques, y la UE ha respondido con protocolos de cooperación en seguridad. Fortalecer la ciberseguridad en este sector es esencial para proteger la infraestructura nuclear europea de amenazas externas.

En conclusión, la energía nuclear representa una herramienta clave para la Unión Europea en su transición hacia un sistema energético más sostenible y autónomo. Aprovechar su liderazgo en innovación y gestión de residuos, así como superar las barreras regulatorias y de percepción pública, permitirá a Europa consolidarse como líder global en sostenibilidad y seguridad energética. Una estrategia coordinada en torno a la energía nuclear favorecerá la autonomía energética europea y beneficiará a sus aliados en el contexto global.

6. ANEXOS

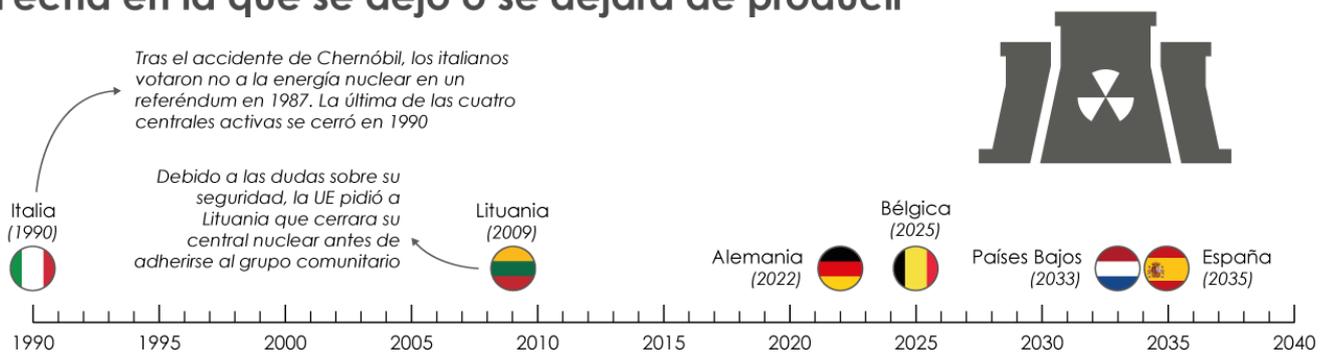
Anexo I : TABLA COMPARATIVA ENTRE EL MODELO *KNOW-HOW* DE FRANCIA Y *PHASE-OUT* DE ALEMANIA

ASPECTO	<i>KNOW-HOW</i> FRANCÉS	<i>PHASE-OUT</i> ALEMÁN
Política nuclear actual	Expansión y modernización	Eliminación gradual completa
Capacidad nuclear	56 reactores operativos, 61,4 GW	0 reactores operativos (cerrados en abril de 2023)
Porcentaje de electricidad de fuente nuclear	Aproximadamente el 70%	0%
Planes futuros	Construcción de 6 nuevos reactores EPR2 para 2035	No hay planes de nuevos reactores
Inversión en tecnología nuclear	Alta, incluyendo I+D en reactores de 4º generación	Baja, enfocada en desmantelamiento
Posición en la UE sobre energía nuclear	Promotor de la inclusión nuclear en la taxonomía verde de la UE	Opositor a la inclusión nuclear en la taxonomía verde de la UE
Dependencia energética	Baja, gracias a la energía nuclear	Alta, especialmente en gas natural
Emisiones de CO2 del sector eléctrico	Bajas (aproximadamente 55g CO2/kWh)	Moderadas (aproximadamente 350g CO2/kWh)
Desafíos principales	Envejecimiento de la flota nuclear, retrasos en nuevos proyectos	Estabilidad de la red, costos de energía renovable
Impacto geopolítico	Mayor independencia energética, exportador de tecnología nuclear	Mayor dependencia de importaciones energéticas

Anexo II: GRÁFICO DE ABANDONO DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN EUROPA

El adiós a la energía nuclear en la UE

Fecha en la que se dejó o se dejará de producir



Países que nunca la han utilizado



Países que no han anunciado su abandono



*Croacia no produce energía nuclear en su territorio, pero sí hace uso de la central de su vecina Eslovenia

Gráfico:
Álvaro Merino (2021)
Fuente:
Investigación propia



Anexo III: TABLA GENERAL DE LAS CAPACIDADES Y PROGRAMAS NUCLEARES DE IRÁN, ARABIA SAUDITA, INDIA, PAKISTÁN Y COREA DEL NORTE

PAÍS	PROGRAMA NUCLEAR	CAPACIDAD DE ENRIQUECIMIENTO	OJIVAS
IRÁN	Activo	Enriquecimiento hasta 60% y 84%	0-5 (no confirmadas)
ARABIA SAUDITA	En desarrollo	Sin capacidad actual	0
INDIA	Avanzado	Capacidad plena	160-170
PAKISTÁN	Avanzado	Capacidad plena	180-200
COREA DEL NORTE	Activo	Capacidad limitada	40-50

PAÍS	DESARROLLOS RECIENTES	CAPACIDAD DE MISILES	OBJETIVOS DECLARADOS	PREOCUPACIONES INTERNACIONALES
IRÁN	114,1 kg de UME al 60% y 470,9 kg al 20%	Misiles balísticos de medio alcance	Energía civil y disuasión	Posible desarrollo de armas
ARABIA SAUDITA	Negociaciones con China para primera planta nuclear	Misiles balísticos adquiridos	Energía civil para 2030	Potencial carrera armamentística regional
INDIA	Modernización del arsenal	Misiles balísticos intercontinentales	Disuasión contra Pakistán y China	Conflictos regionales
PAKISTÁN	Construcción de séptima central nuclear (Chashma-5)	Misiles de crucero y balísticos	Paridad con India	Inestabilidad interna
COREA DEL NORTE	Pruebas nucleares y de misiles.	ICBM en desarrollo	Supervivencia del régimen	Amenaza a la estabilidad regional

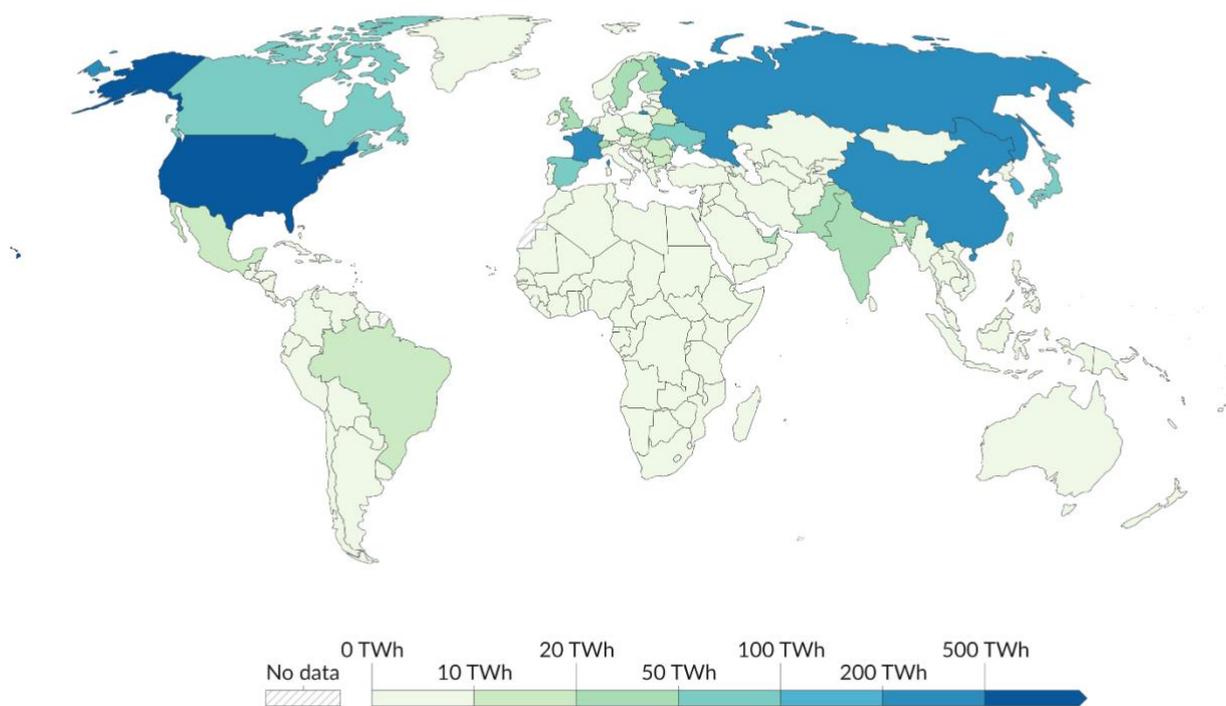
En la relación al **Tratado de No Proliferación Nuclear (TNP)**: Corea del Norte, India y Pakistán no son firmantes, Arabia Saudita e Irán si son firmantes, aunque las acciones de este último son polémicas y han llevado a inspecciones y sanciones internacionales

Anexo IV: PRODUCCIÓN NUCLEAR MUNDIAL EN EL AÑO 2023

Nuclear power generation, 2023

Measured in terawatt-hours.

Our World
in Data



Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

*Fuente: *Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)*

Anexo V: COSTES DE REACTORES NUCLEARES FRENTE A FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA.

	Coste	Vida
Nuclear tradicional	6.000 – 10.000	15 años
SMR	2.000 – 5.000	
IV Generación nuclear	3.000 – 6.000	
Fotovoltaica	1.000 – 2.000	3 años
Eólica	1.500 – 5.000	5 años

Cifras económicas en millones de dólares.

* Elaboración propia.

7. BIBLIOGRAFÍA

A continuación, señalamos enlaces a las páginas web, artículos y demás fuentes utilizadas:

- https://energy.ec.europa.eu/news/commission-ally-industry-small-modular-reactors-2024-02-09_en
- https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/future-nuclear-technologies-trends-threats-and-opportunities-2024-05-02_en
- <https://axaxl.com/fast-fast-forward/articles/nuclear-energy-a-cornerstone-of-france-s-energy-strategy>
- <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20221221-4>
- <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/32221.pdf>
- <https://www.powermag.com>
- <https://world-nuclear.org>
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s40518-024-00232-x>
- https://energy.ec.europa.eu/news/focus-eu-energy-security-and-gas-supplies-2024-02-15_en
- <https://www.nature.com/articles/d41586-022-00969-9>
- <https://www.neimagazine.com>
- <https://www.euronews.com>
- <https://www.france24.com/es/>
- <https://www.rfi.fr/es/>
- <https://www.neimagazine.com/news/france-and-germany-move-towards-resolving-nuclear-differences-11232812/>
- https://energy.ec.europa.eu/news/focus-eu-nuclear-energy-policy-why-it-matters-us-all-2024-03-13_en
- <https://www.marketscreener.com/news/latest/EU-countries-split-over-support-for-nuclear-energy-46084914/>
- <https://www.cleanenergywire.org/blog/nuclear-gas-renewables-what-will-power-eus-franco-german-engine-future>
- <https://envirocenter.yale.edu/posts/2022-11-04-the-eus-new-green-label-for-natural-gas-and-nuclear-energy-what-are-the>
- <https://chatgpt.com/c/6700f560-9058-8011-a850-274c45948604>
- <https://www.dw.com/en/european-commission-declares-nuclear-and-gas-to-be-green/a-60614990>
- <https://app.electricitymaps.com/map>
- <https://manaramagazine.org/2021/12/managing-the-problem-of-nuclear-weapons-programmes-in-so-called-rogue-states-comparing-north-korea-and-iran/>
- <https://www.iranwatch.org/our-publications/roundtables/next-north-korea-lessons-addressing-irans-nuclear-program>
- <https://elpais.com/internacional/2021-11-21/francia-fia-a-la-nuclear-su-soberania-energetica.html>
- <https://www.marshallcenter.org/en/publications/occasional-papers/north-korea-and-irans-nuclear-programs-instability-factors-new-system-international-relations-0>

- <https://www.studysmarter.es/resumenes/frances/problemas-sociales-franceses/energia-nuclear-en-francia/>
- <https://energia-nuclear.net/centrales-nucleares/lista/francia>
- <https://www.newtral.es/modelo-energetico-francia-podemos/20210908/>
- <https://elperiodicodelaenergia.com/alemania-y-la-energia-nuclear-cronologia-de-una-relacion-compleja/>
- <https://www.gob.mx/inin/es/articulos/alemania-y-su-energiewende-transicion-energetica-en-donde-queda-la-nuclear?idiom=es>
- <https://www.dw.com/es/volver%C3%A1-la-energ%C3%ADa-nuclear-a-alemania/a-68105905>
- <https://energia-nuclear.net/centrales-nucleares/lista/india>
- <https://agendarweb.com.ar/2023/12/19/india-pone-en-marcha-otra-central-nuclear-de-uranio-natural-que-significa-para-argentina/>
- <https://carnegieendowment.org/research/2024/10/nuclear-power-india-promise?lang=en>
- <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/energia-nuclear-en-el-mundo/>
- <https://legrandcontinent.eu/es/2023/06/21/pakistan-sigue-desarrollando-su-sector-nuclear-civil-en-colaboracion-con-china/>
- <https://mofa.gov.pk/news/foreign-minister-addressing-the-nuclear-energy-summit-2024>
- <https://israelnoticias.com/internacional/arabia-saudita-cambiara-a-salvaguardas-nucleares-completas-para-finales-de-2024/>
- <https://www.politicaexterior.com/las-ambiciones-nucleares-de-arabia-saudita-congeladas-de-nuevo/>
- <https://efe.com/mundo/2024-05-27/iran-uranio-produccion-oeia/>
- <https://elpais.com/internacional/2024-04-21/iran-acelera-el-paso-hacia-la-bomba-nuclear.html>
- https://www.elnacional.cat/es/internacional/corea-norte-exhibe-musculo-nuclear-muestra-por-primera-vez-sus-fabricas-uranio-enriquecido_1282680_102.html
- <https://es.euronews.com/2024/09/17/corea-del-norte-deja-entrever-una-instalacion-nuclear-secreta-mientras-kim-presiona-para-c>
- <https://magnuscmd.com/es/el-futuro-de-la-energia-nuclear-en-europa/>
- https://energy.ec.europa.eu/news/focus-eu-nuclear-energy-policy-why-it-matters-us-all-2024-03-13_en
- <https://www.neimagazine.com/news/nuclear-industry-unveils-strategic-manifesto-for-new-european-commissions-energy-policy/?cf-view>
- [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2024/757796/EPRS_BRI\(2024\)757796_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2024/757796/EPRS_BRI(2024)757796_EN.pdf)
- https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/future-nuclear-technologies-trends-threats-and-opportunities-2024-05-02_en
- <https://www.csn.es/almacenamiento-geologico-profundo>
- <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-son-los-reactores-modulares-pequenos-smr>

- https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_26297/the-nea-small-modular-reactor-smr-strategy
- https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_69812/building-confidence-in-waste-repositories-the-role-of-the-safety-case
- https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14534/public-attitudes-to-nuclear-power
- https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_es
- <https://world-nuclear.org/news-and-media/press-statements/world-nuclear-performance-report-2024-highlights-increase-in-global-reactor-generation-performance-20-august-2024>
- <https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database/summary>
- <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/nuclear-energy-and-sustainable-development>
- <https://world-nuclear.org/information-library/appendices/nuclear-energy-and-sustainable-finance>
- <https://world-nuclear.org/news-and-media/press-statements/combating-climate-change-faster-with-new-nuclear>
- <https://world-nuclear.org/climate-change-and-nuclear-energy/climate-change-information/how-can-nuclear-combat-climate-change>