Capítulo segundo

Fusión nuclear, la panacea de la geopolítica energética: viabilidad, actores e impacto global

Noel Díaz Muñoz

Sumario

La fusión nuclear, tradicionalmente considerada una promesa científica a largo plazo, ha adquirido una relevancia creciente en el debate energético global. Este trabajo aborda la fusión no solo como una fuente potencial de energía limpia, sino como un elemento disruptivo con capacidad para reconfigurar las dinámicas geopolíticas. Desde un enfoque interdisciplinar que combina análisis tecnológico, económico y estratégico, el estudio evalúa su viabilidad comercial en las próximas décadas y su posible impacto sobre el orden energético internacional.

El análisis se centra en el papel de tres actores clave —la Unión Europea, Estados Unidos y China—, sin descuidar la posición de actores secundarios y no estatales. Para ello, se incorporan entrevistas con expertos del sector y datos actualizados de organismos internacionales.

Las conclusiones muestran que, pese a los avances recientes, la fusión no será competitiva a corto plazo debido a los importantes retos técnicos aún no resueltos. No obstante, su implantación a medio o largo plazo podría reducir la dependencia de combustibles fósiles, alterar los equilibrios de poder geopolítico y abrir nuevas formas de cooperación y rivalidad entre Estados.

En este sentido, la fusión nuclear, si logra consolidarse, no representará únicamente una revolución tecnológica, sino también una herramienta estratégica capaz de modificar el balance de poder global.

Palabras clave

Transición energética, Soberanía tecnológica, Seguridad energética, Diplomacia científica.

Nuclear Fusion, the Panacea of Energy Geopolitics: Feasibility, Actors, and Global Impact

Abstract

Nuclear fusion, traditionally regarded as a long-term scientific promise, has gained increasing relevance in the global energy debate. This work addresses fusion not only as a potential source of clean energy, but also as a disruptive element capable of reshaping geopolitical dynamics. From an interdisciplinary perspective combining technological, economic, and strategic analysis, it evaluates its commercial viability in the coming decades and its potential impact on the international energy order.

The analysis focuses on the role of three key actors—the European Union, the United States, and China—without neglecting the position of secondary and non-state actors. To this end, it incorporates interviews with sector experts and up-to-date data from international organizations.

The conclusions show that, despite recent advances, fusion will not be competitive in the short term due to significant unresolved technical challenges. Nevertheless, its deployment in the medium or long term could reduce dependence on fossil fuels, alter geopolitical power balances, and open new forms of cooperation and rivalry among states.

In this regard, nuclear fusion, if it succeeds in consolidating itself, will not represent merely a technological revolution, but also a strategic tool capable of modifying the global balance of power.

Key words

Energy transition, Technological sovereignty, Energy security, Scientific diplomacy.

1 Introducción

La energía constituye uno de los pilares de la configuración geopolítica y del equilibrio de poder entre las distintas potencias. Para algunos países representa su principal fuente de riqueza, mientras para otros se convierte en un factor de vulnerabilidad estructural que condiciona su soberanía y capacidad de autodeterminación.

En este contexto, la posibilidad de disponer de una fuente de energía barata, limpia, inagotable e independiente de materias primas en manos de unos pocos países se presenta como una potencial panacea para aquellos Estados dependientes de recursos energéticos externos, al permitirles reforzar su soberanía energética y modificar sustancialmente su posición estratégica en el escenario internacional.

Este trabajo combina el análisis de fuentes académicas e informes de organismos internacionales con entrevistas a expertos directamente implicados en el desarrollo de la energía de fusión. En particular, se han incorporado las contribuciones de Joaquín Sánchez, director del Laboratorio Nacional de Fusión, y de Milena Roveda, directora general de *Gauss Fusion* y presidenta de la Asociación Europea de Fusión. Sus aportaciones se utilizan a lo largo del trabajo para contextualizar los avances, las limitaciones actuales y las distintas estrategias en torno a la fusión nuclear.

1.1 La fusión nuclear

La energía de fusión se basa en la emisión de energía al unir los núcleos de dos átomos ligeros para formar uno más pesado. Se trata del proceso opuesto a la fisión nuclear, en la que el núcleo de un átomo pesado se divide en otros más ligeros.

La energía de fusión es la misma que se genera en las estrellas como el Sol, donde continuamente se fusionan átomos de hidrógeno, generando átomos de helio y una inmensa cantidad de energía en el proceso.

Sin embargo, a diferencia de la reacción de fisión, la fusión nuclear no es espontánea y requiere condiciones extremas de temperatura y presión. En el núcleo del Sol, estas condiciones se alcanzan de manera natural, con temperaturas de aproximadamente quince millones de Kelvin y presiones del orden de doscientos cincuenta mil millones de veces superiores a la Tierra. Dada la imposibilidad de alcanzar dicha presión en nuestro planeta, se

considera que la temperatura necesaria para replicar la reacción de fusión es de, al menos, cien millones de Kelvin (Barbarino, 2023).

La reacción de fusión nuclear que menos energía requiere es la del hidrógeno. Los núcleos de este elemento están compuestos por un protón y, dependiendo del isótopo, un número variable de neutrones. En concreto, en la naturaleza existen tres isótopos del hidrógeno: el protio (^{1}H), compuesto únicamente por un protón y ampliamente mayoritario; el deuterio (^{2}H), con un protón y un neutrón, presente en pequeñas cantidades, y el tritio (^{3}H), con dos neutrones, que es radiactivo e inestable y del que solo existen trazas en la naturaleza. Este último solo está disponible de forma artificial, y se produce en cantidades muy limitadas en reactores nucleares de fisión convencionales, insuficientes para sostener la demanda de tritio de una central de fusión (Krishnamurthy, 1998).

Para generar artificialmente la fusión nuclear, la reacción más adecuada es la que combina un núcleo de deuterio y otro de tritio. Esta reacción produce un núcleo de ^{4}He (helio, con dos protones y dos neutrones), libera un neutrón y genera 17,6 MeV (megaelectronvoltios) de energía.

Debido a que, como se ha visto con anterioridad, el tritio es extremadamente escaso, en principio se necesitaría alguna forma de generarlo de forma artificial. El deuterio, por su parte, es lo suficientemente abundante en la naturaleza como para poder extraerse directamente del agua común; por tanto, el agua de la Tierra sería una fuente inagotable de deuterio (Arnoux, 2011).

Preguntando al doctor Joaquín Sánchez sobre la posibilidad de producir tritio en un reactor con el propósito de utilizarlo posteriormente para producir energía en una central de fusión nuclear, este lo descartó por completo. La producción mundial de tritio, de unos 20 kg anuales, sería insuficiente para una sola central de fusión, que requeriría entre 100 y 200 kg anuales (Pearson, Antoniazzi y Nuttall, 2018). Por ello, es necesario recuperar el tritio utilizado en las centrales de fusión nuclear.

Este proceso se conoce como «cría de tritio» (*tritium breeding*) y es fundamental para el funcionamiento de una central de fusión. Dado que el tritio no se encuentra disponible de forma natural en cantidades suficientes, los propios reactores deben producirlo a medida que generan energía.

Para ello, se aprovechan los neutrones liberados durante la reacción de fusión, que al interactuar con una capa externa de litio

situada alrededor del reactor permiten obtener nuevos átomos de tritio. De este modo, el combustible utilizado puede regenerarse de forma continua dentro de la propia instalación, haciendo posible el funcionamiento prolongado de una central de fusión sin depender de suministros externos de tritio (Rubel, 2018).

1.2 Geopolítica energética

Actualmente, la producción energética constituye uno de los desafíos más importantes para la mayoría de los países, ya que no solo es imprescindible para satisfacer las necesidades cotidianas de la población, sino que, además, resulta fundamental para sectores como la industria, especialmente aquella de alta intensidad energética y para el transporte. En este sentido, la energía ha dejado de ser un mero factor económico para convertirse en un elemento central de la planificación estratégica y de la política exterior de los Estados.

A nivel global, las distintas fuentes de energía pueden agruparse en tres grandes categorías, que a menudo se representan como los vértices de un triángulo según su impacto en las emisiones de dióxido de carbono. En uno de los vértices se sitúan los combustibles fósiles de mayor intensidad emisora, como el carbón. En otro vértice, se ubican el petróleo y el gas natural, que, aunque también son fuentes fósiles, generan menores emisiones específicas que el carbón. Finalmente, el tercer vértice lo ocupan las fuentes no fósiles —la energía nuclear y las energías renovables—, que son las que presentan menores o nulas emisiones directas de CO_2 y constituyen el eje principal de la transición energética (Nakićenović y Swart, 2000).

La combinación de los tres tipos de energía en un país conforma lo que se conoce como su mix energético. La proporción relativa de uso de cada uno de los tipos de energía no responde únicamente a criterios de eficiencia o coste, sino que está condicionada por factores de carácter estructural, como el nivel de desarrollo tecnológico, la disponibilidad de recursos naturales, la capacidad industrial, las alianzas comerciales y el marco regulatorio vigente.

Asimismo, el mix energético refleja decisiones políticas de largo alcance, ya que determina el grado de dependencia exterior, la exposición a la volatilidad de los mercados internacionales y la capacidad de los Estados para adaptar su sistema energético a escenarios de crisis o disrupción. En este sentido, la composición

del mix energético no es estática, sino que evoluciona en función de cambios tecnológicos, presiones medioambientales y transformaciones geopolíticas, convirtiéndose en un indicador clave de la resiliencia energética de cada país.

La producción y el consumo de energía adquieren, por tanto, una dimensión claramente estratégica para las naciones, hasta el punto de convertirse en un elemento central de su política exterior y de seguridad. El control de recursos energéticos, de las infraestructuras asociadas y de las rutas de suministro ha sido históricamente una fuente tanto de cooperación como de conflicto, influyendo en la configuración de alianzas y tratados comerciales, así como en el estallido de conflictos internacionales.

En el contexto mundial actual, el comercio internacional de energía se concentra principalmente en los combustibles fósiles, ya que tanto las energías renovables como la energía nuclear suelen destinarse mayoritariamente al consumo interno, si bien en algunos casos se produce un intercambio limitado de electricidad entre países vecinos (Foster y Elzinga, 2015).

A pesar de la creciente importancia que tienen las energías renovables en el mix energético mundial, sus principales inconvenientes son su disponibilidad variable, su falta de adaptabilidad a la demanda y la tecnología necesaria para su almacenamiento; todo ello hace necesario contar con otras fuentes energéticas de respaldo. Por ello, los Estados mantienen un interés estratégico en fuentes de energía estables, entre las que se inscriben la energía nuclear convencional y, a largo plazo, la fusión nuclear como posible elemento transformador del sistema energético global.

1.3 Soberanía energética y seguridad

La soberanía energética es un elemento central en las políticas de las naciones, especialmente en un contexto marcado por la crisis climática, la creciente competencia geopolítica y la volatilidad de los mercados energéticos internacionales. Su objetivo fundamental es garantizar un suministro estable, seguro y asequible de energía, al tiempo que permite a los Estados definir y aplicar sus propias políticas económicas, industriales y medioambientales sin depender de forma excesiva de la voluntad de actores externos. En este sentido, la soberanía energética se ha convertido en una dimensión clave de la soberanía nacional y de la autonomía estratégica de los Estados.

La soberanía energética está estrechamente ligada a la seguridad, ya que una elevada dependencia de fuentes externas puede generar vulnerabilidades estructurales. Conflictos internacionales, sanciones comerciales, interrupciones en las cadenas de suministros o crisis de abastecimiento pueden afectar la estabilidad política, económica y social de los países dependientes de la importación de combustibles fósiles. Diversificar la matriz energética y desarrollar fuentes endógenas de energía son, por tanto, estrategias clave para mitigar estos riesgos. Además, el desarrollo de energías renovables contribuye a disminuir la exposición a las fluctuaciones de precios del petróleo y gas, y permite a los países que lideren la transición energética obtener ventajas competitivas en la economía global (Timmermann y Noboa, 2022).

En el marco de la soberanía energética, la innovación tecnológica desempeña un papel crucial. La fusión nuclear, aunque aún se encuentra en fase experimental, representa una posibilidad a largo plazo para generar energía limpia, abundante y prácticamente inagotable. Su potencial para ofrecer una fuente segura y sostenible podría redefinir los paradigmas energéticos y reducir la dependencia de combustibles fósiles y minerales críticos.

En conjunto, la soberanía energética y la seguridad persiguen garantizar la estabilidad y la autonomía de los sistemas energéticos nacionales frente a un entorno internacional cada vez más incierto. La transición a energías renovables, la descentralización de la producción y la apuesta por la innovación tecnológica constituyen pilares fundamentales para reducir vulnerabilidades y aumentar la resiliencia frente a crisis globales. En este contexto, la fusión nuclear podría representar una solución a futuro, complementando la diversificación energética y fortaleciendo la independencia de los sistemas energéticos de los Estados que consigan dominar esta tecnología.

2 Estado actual de la fusión nuclear y su impacto en la geopolítica

2.1 Condicionantes de la fusión nuclear

La viabilidad comercial de la energía de fusión depende de la superación de una serie de desafíos técnicos y materiales que aún no han sido plenamente resueltos. Aunque los principios científicos que sustentan la fusión nuclear son bien conocidos,

su traslación a un sistema energético funcional y viable continúa siendo un reto.

Este apartado expone los principales condicionantes que limitan actualmente el desarrollo de la fusión nuclear, desde las exigencias físicas de la reacción hasta la disponibilidad de combustibles, la eficiencia energética de los sistemas y la estabilidad del plasma. Estos factores condicionan su viabilidad económica y su potencial impacto geopolítico.

2.1.1 Temperatura necesaria

El principal escollo para la producción de energía de fusión, como se ha señalado previamente, es la necesidad de alcanzar las temperaturas extremas necesarias para mantener la reacción. A estas temperaturas, el hidrógeno deja de comportarse como un gas y pasa a un estado de la materia conocido como plasma. Contener dicho plasma supone un desafío, ya que no existe ningún contenedor capaz de soportar temperaturas de más de cien millones de Kelvin (Chatzis y Barbarino, 2021).

Para hacer frente a esta limitación, se han desarrollado dos aproximaciones principales para contener el plasma durante el proceso de fusión. La primera consiste en el confinamiento magnético, a través de potentes campos de este tipo que mantienen el plasma retenido sin tocar las paredes del contenedor.

La segunda aproximación es el confinamiento inercial, en el que pequeñas cantidades de combustible se comprimen a altísima velocidad, generando durante unos pocos nanosegundos las condiciones extremas necesarias para que se produzca la reacción nuclear. En este caso, la propia compresión del plasma genera simultáneamente la temperatura necesaria para la reacción de fusión. Además, al aumentar la presión del plasma, se reduce la temperatura necesaria para alcanzar la reacción (Zhou, Sadler y Hurricane, 2025).

Ambas aproximaciones presentan numerosos desafíos técnicos. En el confinamiento magnético, destacan la necesidad de mantener la estabilidad del plasma durante periodos prolongados y el control de turbulencias internas. En el caso del confinamiento inercial, los principales retos se centran en lograr una implosión perfectamente simétrica del combustible y en el control de las inestabilidades que pueden impedir una fusión eficiente.

2.1.2 Escasez del tritio

Como se ha señalado con anterioridad, el tritio es un isótopo extremadamente escaso en la naturaleza, y casi todo el que se utiliza es obtenido en pequeñas cantidades en reactores nucleares. La cría de tritio es considerada la solución más prometedora para garantizar el suministro de combustible en una futura central de fusión. Sin embargo, no está exenta de dificultades. Su principal inconveniente es la necesidad de recuperar el tritio una vez obtenido, para poder extraerlo del reactor y utilizarlo de nuevo como combustible.

Si se lograse superar este escollo tecnológico, el tritio dejaría de ser una limitación estructural. Los combustibles de la central de fusión pasarían a ser el deuterio, abundante en los océanos en unas cantidades que se podrían considerar inagotables, y el litio. En palabras del doctor Joaquín Sánchez, el litio contenido en la batería de un teléfono móvil sería suficiente para generar la energía que consume una persona durante treinta años.

2.1.3 Eficiencia de la reacción

Una de las claves para que la fusión nuclear comercial sea viable es alcanzar la mayor eficiencia posible. A diferencia de la fisión nuclear, que se produce de forma espontánea, la fusión requiere un aporte de energía y, hasta el momento, ningún experimento relacionado con la fusión ha obtenido una ganancia neta de energía. Actualmente, el reactor que ha logrado una mayor eficiencia es el *Joint European Torus* (JET), con una eficiencia del 67 % (Picot, 2021).

El reactor del *National Ignition Facility*, del que se hablará más adelante, logró en 2022, por primera vez, que una cápsula de deuterio-tritio emitiese más energía de la que absorbió. Sin embargo, este resultado omite que la energía consumida por los láseres fue muy superior, debido tanto a la poca eficiencia de funcionamiento de estos, como a las pérdidas de transmisión de energía a la cápsula de combustible, de manera que la eficiencia total se aproxima al 1 % (Clery, 2022).

Por su parte, el objetivo del ITER sí es lograr una reacción con eficiencia positiva. En concreto, su objetivo es alcanzar una eficiencia de 10:1, es decir, producir al menos diez veces la energía aportada al sistema (Picot, 2021).

2.1.4 Mantenimiento de la estabilidad del plasma (confinamiento magnético)

A diferencia de los reactores de confinamiento inercial, que buscan liberar energía en un solo instante mediante la compresión del combustible, los reactores de confinamiento magnético intentan mantener una reacción de fusión estable y continua. Para lograrlo, es necesario que el plasma, que alcanza temperaturas de decenas de millones de grados, permanezca estable y bien confinado, evitando pérdidas de energía que interrumpan el proceso (Picot, 2021).

El problema es que el plasma es una sustancia muy inestable y difícil de controlar. Tiende a moverse y deformarse dentro del reactor, pudiendo tocar las paredes y enfriarse rápidamente. Para evitarlo, se utilizan potentes campos magnéticos que mantienen el plasma flotando dentro de la cámara de vacío sin contacto con ninguna superficie.

En los *tokamaks*, los campos magnéticos se generan combinando bobinas externas y una corriente eléctrica dentro del propio plasma. Esta corriente interna es útil, pero también puede provocar inestabilidades que alteran la forma del plasma y pueden detener la reacción (Picot, 2021).

Por otro lado, los *stellarators* usan únicamente bobinas externas con una forma más compleja para generar los campos magnéticos. Esto hace que el plasma sea más estable y permita un funcionamiento continuo, aunque estos reactores son más difíciles de construir y menos eficientes en la retención del calor (Pedersen *et al*., 2016).

2.2 Futuro de la energía de fusión

Hoy en día, no existe una solución tecnológica capaz de superar de forma simultánea todas las dificultades que plantea la construcción de una central nuclear de fusión económicamente rentable.

Desde el punto de vista técnico, una central de fusión debe ser capaz de elevar la temperatura y la presión del combustible hasta valores extremos, mantener dichas condiciones durante el tiempo necesario y, al mismo tiempo, extraer una ganancia neta de energía. Todo ello debe realizarse mientras se recicla y recupera el tritio para poder seguir operando de forma indefinida,

y dentro de estructuras fabricadas con materiales capaces de soportar temperaturas de millones de grados Kelvin (Waldrop, 2024).

En las entrevistas realizadas al doctor Joaquín Sánchez y a Milena Roveda, se ha encontrado un punto de acuerdo sobre el tiempo necesario: la fusión nuclear, como fuente de energía, no será factible desde el punto de vista técnico hasta la década de 2040, como mínimo, ampliándose los plazos si se hace referencia a la construcción de reactores económicamente rentables. Roveda subraya que la primera generación de centrales de fusión deberá afrontar pérdidas económicas. Por lo tanto, es necesario conjugar inversión pública y privada. De forma irónica, Parisi y Ball (2019) afirman que «La fusión está a 20 años vista… y siempre lo estará», apuntando, además, que lograr la fusión nuclear no es una cuestión de tiempo, sino de dinero, requiriendo un importante volumen de inversión sostenido.

El principal programa mundial de fusión nuclear, el ITER, se ha visto lastrado por los sucesivos retrasos que, a su vez, han provocado importantes sobrecostes al proyecto. La continuación natural del ITER, el DEMO (*Demonstration Power Plant*), carece de fecha de construcción, financiación, y una lista cerrada de países participantes. Esta situación contrasta con la situación en Asia oriental, donde China, Japón y Corea del Sur desarrollan sus propios programas nacionales de fusión. Por su lado, Estados Unidos se vuelca en iniciativas privadas, con una mínima inversión estatal, más allá del proyecto NIF, cuyo objetivo principal no es la producción comercial de energía.

2.3 Actores

El desarrollo de la fusión nuclear implica a una amplia variedad de actores con distintos niveles de influencia, capacidades técnicas y estrategias nacionales. Este apartado se centra en aquellos actores que, sin formar parte del núcleo dominante del sistema internacional —Unión Europea, Estados Unidos y China, que serán tratados en detalle en el capítulo siguiente—, desempeñan un papel relevante en el avance de esta tecnología.

Asimismo, se aborda la creciente implicación de actores no estatales, como empresas privadas, universidades y consorcios científicos, que están contribuyendo de forma decisiva a dinamizar la carrera por la energía de fusión.

2.3.1 Corea del Sur y Japón

Japón y Corea del Sur destacan como líderes en la investigación y desarrollo de la energía de fusión nuclear, contribuyendo significativamente a proyectos internacionales y avanzando en iniciativas nacionales propias. Ambos forman parte del programa ITER, con una participación del 9,1 % cada uno (ITER, 2024).

Japón ha sido a lo largo de la historia un actor clave en la investigación en fusión. Su proyecto más emblemático es el JT-60SA, un *tokamak* superconductivo desarrollado en colaboración con la Unión Europea bajo el acuerdo «Broader Approach» (European Commission, 2023a). Este dispositivo, ubicado en Naka, alcanzó su primer plasma en octubre de 2023, convirtiéndose en el *tokamak* operativo más grande del mundo, con un volumen de plasma de ciento sesenta metros cúbicos (JT-60SA, 2024).

Corea del Sur, por su parte, ha consolidado su posición mediante el desarrollo de su dispositivo KSTAR (*Korea Superconducting Tokamak Advanced Research*), uno de los primeros *tokamaks* en incorporar imanes superconductores. Esto convierte a KSTAR en un banco de pruebas crucial para tecnologías de fusión avanzadas. Corea del Sur pretende ser capaz de construir su primera planta de fusión nuclear en la década de 2040 (Korea Institute of Fusion Energy, 2020).

Ambos países presentan una gran dependencia de las importaciones energéticas. Además, ambos países son considerados «islas eléctricas», al carecer de conexiones eléctricas internacionales, lo que les obliga a ser autosuficientes en todo momento. Esta situación es especialmente crítica para Japón, que ha reducido su producción eléctrica proveniente de centrales nucleares a la tercera parte, a raíz del accidente producido en Fukushima tras el terremoto de 2011 (IEA, 2024).

La implementación exitosa de la energía de fusión podría reducir significativamente la vulnerabilidad energética de Corea del Sur y Japón, proporcionando una fuente de energía limpia y sostenible. Además, el liderazgo en tecnologías

de fusión podría ofrecer ventajas económicas y geopolíticas, posicionando a ambos países como exportadores de tecnología y conocimientos en un campo emergente.

2.3.2 Rusia

Rusia ha sido históricamente uno de los actores más influyentes en el desarrollo de la energía nuclear, tanto en su vertiente civil como militar, y este legado se extiende al ámbito de la fusión nuclear. Durante la Guerra Fría, la Unión Soviética fue pionera en el diseño del *tokamak*, una arquitectura que aún hoy constituye la base de la mayoría de experimentos de fusión a nivel mundial (Smirnov, 2009). Esta herencia científica y tecnológica ha situado a Rusia como uno de los socios fundadores del proyecto ITER, en el que participa con una contribución del 9,1 % del total (ITER, 2024).

La experiencia rusa en materiales resistentes a la radiación y en la física de neutrones de alta energía le otorga una posición competitiva en el desarrollo de componentes críticos para ITER y para otros proyectos de fusión. No obstante, la guerra en Ucrania y las sanciones internacionales han puesto en entredicho la continuidad de esta cooperación. Aunque Rusia sigue siendo miembro formal de ITER, algunos socios han comenzado a reducir o limitar su colaboración tecnológica con entidades rusas, y las sanciones han dificultado la participación del país en el proyecto (Jack, 2022).

Desde el punto de vista energético, Rusia no comparte la urgencia de transición energética de otros países altamente dependientes de las importaciones. Posee enormes reservas de petróleo, gas y uranio, y se ha consolidado como uno de los mayores exportadores energéticos del mundo. En este contexto, la fusión nuclear no se presenta como una necesidad estratégica inmediata para garantizar su seguridad energética, sino más bien como una herramienta geopolítica y científica para mantener su estatus como potencia tecnológica.

2.3.3 Países del Golfo Pérsico

Los países del golfo Pérsico, como Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos (EAU), Kuwait, Catar, Baréin y Omán, obtienen la práctica totalidad de su energía, con pequeñas excepciones, de los combustibles fósiles, principalmente petróleo y gas natural.

Entre estas excepciones se encuentra EAU, que ha iniciado en los últimos años un proyecto para construir centrales nucleares en el país, suponiendo en 2022 el 13,5 % de su producción de energía eléctrica y haciendo que los tres últimos años con registros hayan sido los primeros en su historia en que ha menguado el consumo de combustibles fósiles para electricidad (IEA, 2023a).

La exportación de combustibles fósiles es la fuente principal de financiación para estos países, representando entre el 60 % y el 84 % de sus ingresos públicos (Sanfilippo, Vermeersch y Benito, 2024). Los subsidios a los combustibles fósiles y a la electricidad desincentivan el desarrollo de fuentes de energía alternativas, sobre todo a escala comercial y doméstica.

Aunque los países del golfo Pérsico no participan directamente en proyectos internacionales de fusión nuclear como el ITER, sus fondos soberanos han invertido en tecnologías relacionadas con la fusión. Por ejemplo, EAU ha identificado la energía de fusión como un componente crítico de su estrategia de inversión, considerándola tan importante como la inteligencia artificial (IA), el espacio y las energías renovables (Alotaiba, 2024).

La transición global hacia fuentes de energía más limpias y el eventual despliegue comercial de la fusión nuclear representan una amenaza estructural para la estabilidad económica de los países del Golfo, cuya prosperidad depende en gran medida de las exportaciones de petróleo y gas. Una reducción sostenida de la demanda global de combustibles fósiles, acompañada de una caída en sus precios, podría generar desequilibrios fiscales, recortes del gasto público y tensiones sociales en Estados cuya legitimidad política se apoya, en parte, en la redistribución de rentas energéticas. Aunque algunas de estas naciones han comenzado a implementar estrategias de diversificación económica e inversión en sectores emergentes, el alcance y la profundidad de estas transformaciones siguen siendo inciertos ante un escenario de cambio acelerado en los mercados energéticos globales.

2.3.4 Actores no estatales

El desarrollo de la fusión nuclear, considerada una fuente potencialmente inagotable y limpia de energía, ha sido tradicionalmente liderado por iniciativas estatales y consorcios internacionales. Sin embargo, en las últimas décadas, actores no estatales, como empresas privadas y universidades, han emergido como prota-

gonistas clave en este ámbito, aportando dinamismo y recursos significativos al avance de esta tecnología (Brans, 2024).

La inversión privada en la fusión nuclear ha experimentado un crecimiento notable, según Milena Roveda, que la cifra en más de siete mil millones de dólares desde 2008. Este incremento refleja la confianza de inversores en el potencial de la fusión como solución energética sostenible. Empresas emergentes, como *Commonwealth Fusion Systems* (CFS), en colaboración con el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), están desarrollando reactores compactos de fusión con el objetivo de tener un prototipo operativo en 2025 (*Massachusetts Institute of Technology*, 2022). Además, *Tokamak Energy* ha recaudado ciento veinticinco millones de dólares para avanzar en su tecnología de superconductores de alta temperatura y en el desarrollo de una planta piloto de fusión (De Chant, 2024).

Una de las claves sobre la participación de la industria privada es la propiedad de las patentes. Como afirma Milena Roveda para *Science Business*, «si tienes la intención de obtener financiación privada, realmente necesitas resolver el problema de la propiedad intelectual, porque la primera pregunta de un inversor privado es: ¿quién es el dueño de la propiedad intelectual?» (Matthews, 2024). Esto contrasta con el modelo de investigación pública, en el que la propiedad intelectual suele pertenecer a los Estados participantes en los proyectos, y no a entidades privadas individuales.

Este auge de la inversión privada se ve impulsado por la creciente demanda energética, especialmente en sectores tecnológicos avanzados. La IA, por ejemplo, requiere cantidades significativas de energía, lo que ha llevado a gigantes tecnológicos a explorar la energía nuclear como una solución sostenible. La capacidad de las empresas privadas para movilizar recursos y acelerar procesos de innovación las posiciona como actores esenciales en la carrera hacia la comercialización de la fusión nuclear (Regal, 2024).

2.4 Impacto de la fusión nuclear

El desarrollo de la fusión nuclear como fuente energética no solo plantea transformaciones de carácter técnico, sino también implicaciones estructurales de gran alcance para el mercado energético, las relaciones internacionales y la distribución global del

conocimiento. Este apartado examina los principales efectos potenciales de la fusión en términos de reorganización económica, redefinición de alianzas geopolíticas y posible alteración de las desigualdades entre países.

2.4.1 Cambios en el mercado energético

La posible incorporación de la fusión nuclear como fuente energética podría transformar significativamente el mercado energético global, afectando tanto a la demanda como al precio de otras fuentes de energía. Sin embargo, como indica el doctor Joaquín Sánchez en su entrevista, el impacto que tenga la fusión nuclear en el mercado depende principalmente de su coste, tanto en la implantación (desarrollo y construcción de reactores) como en su operación. Asimismo, Milena Roveda señala que es de esperar que los costes iniciales sean elevados, pero que, con el tiempo, una vez amortizada la implantación, este precio vaya disminuyendo.

La fusión nuclear ofrece la posibilidad de generar energía limpia y prácticamente ilimitada, lo que podría disminuir la necesidad de recurrir a combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural. Esta transición contribuiría a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y al combate del cambio climático. Sin embargo, esta disminución en la demanda de combustibles fósiles podría afectar de forma negativa a las economías de países productores que dependen en gran medida de la exportación de estos recursos (Sala, 2022).

Aunque la fusión nuclear promete ser una fuente de energía limpia y abundante, deberá competir con otras tecnologías renovables ya consolidadas, como la solar y la eólica. La viabilidad económica y la aceptación pública serán factores determinantes en la adopción de la fusión en comparación con estas alternativas.

En resumen, la implementación de la fusión nuclear tiene el potencial de provocar cambios sustanciales en el mercado energético global, desde la reducción de la dependencia de combustibles fósiles hasta la reconfiguración de las dinámicas geopolíticas y económicas. No obstante, su integración exitosa dependerá de la superación de desafíos técnicos, económicos y regulatorios, así como de su capacidad para coexistir y complementarse con otras fuentes de energía limpia.

2.4.2 Redefinición de alianzas y rivalidades

La energía de fusión nuclear tiene el potencial de transformar el panorama geopolítico mundial, reconfigurando alianzas estratégicas y rivalidades entre naciones. A medida que esta tecnología avance, resulta esencial analizar cómo podría influir en las relaciones internacionales y en la estructura del poder global.

Históricamente, la dependencia de los combustibles fósiles ha definido muchas de las alianzas internacionales. Países ricos en petróleo y gas han mantenido relaciones estratégicas con naciones consumidoras, basadas en la necesidad mutua de suministro y demanda (Ibekwe *et al*., 2024). La adopción progresiva de la fusión nuclear como fuente principal de energía podría disminuir esta dependencia, reduciendo la influencia geopolítica de los países exportadores de hidrocarburos y fomentando nuevas asociaciones basadas en la cooperación tecnológica y científica.

La implementación exitosa de la fusión nuclear podría favorecer la aparición de nuevos bloques económicos y políticos. Los países que logren avances significativos en esta tecnología podrían atraer a otras naciones interesadas en acceder a energía limpia y estable, consolidando nuevas esferas de influencia y colaboración. Este proceso podría alterar el equilibrio de poder existente, beneficiando a aquellos actores que consigan situarse en una posición de liderazgo en el ámbito de la fusión nuclear.

El descenso de la demanda de combustibles fósiles podría suponer un riesgo de pérdida de relevancia geopolítica para los países productores de hidrocarburos, obligándoles a realinear sus intereses estratégicos. Esta situación es especialmente crítica para los países de Oriente Medio, cuya influencia internacional ha estado a lo largo de la historia ligada al control de los flujos globales de petróleo y gas. La aparición de tecnologías energéticas alternativas, como la fusión nuclear, podría erosionar esta posición privilegiada y forzar a estos Estados a buscar nuevas formas de relevancia estratégica (Ibekwe *et al*., 2024).

Aunque la fusión nuclear es inherentemente más segura que la fisión en términos de residuos radiactivos y riesgos de accidentes, su desarrollo plantea preocupaciones en materia de seguridad y no proliferación. La naturaleza dual de la tecnología y ciertos materiales asociados subraya la necesidad de establecer marcos regulatorios internacionales que garanticen su uso pacífico y pre-

vengan posibles desviaciones hacia fines militares (Parisi y Ball, 2019).

En conjunto, la fusión nuclear presenta un notable potencial para redefinir alianzas y rivalidades en el escenario internacional. Si bien abre oportunidades para la cooperación y el desarrollo sostenible, también introduce desafíos relacionados con la competencia tecnológica, la seguridad y la equidad global.

2.4.3 Desigualdad y brecha tecnológica

La energía de fusión nuclear se perfila como una solución prometedora para satisfacer las crecientes demandas energéticas globales de manera sostenible y limpia. Sin embargo, el desarrollo y la eventual implementación de esta tecnología plantean desafíos significativos que podrían exacerbar las desigualdades tecnológicas y económicas entre países desarrollados y en desarrollo.

El desarrollo de reactores de fusión requiere inversiones multimillonarias, una infraestructura científica avanzada y capacidades industriales ampliamente especializadas. Los países con economías emergentes a menudo carecen de los recursos financieros, tecnológicos y humanos necesarios para participar activamente en proyectos de esta envergadura. Aunque un número creciente de países en desarrollo ha expresado interés en acceder a tecnologías nucleares avanzadas, solo una minoría dispone de la capacidad económica y de la infraestructura eléctrica necesaria para integrarlas en sus sistemas energéticos (Gondemberg, 2009). Esta situación podría dar lugar a la formación de un reducido grupo de naciones con acceso efectivo a la energía de fusión, ampliando la brecha tecnológica y limitando las oportunidades de desarrollo de aquellos países que queden al margen.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) desempeña un papel crucial al facilitar programas de cooperación técnica que promueven la transferencia de conocimientos y tecnología entre países desarrollados y en desarrollo. Sin embargo, la efectividad de estas iniciativas depende de la capacidad de los países en desarrollo para absorber y aplicar las tecnologías transferidas, lo que a menudo se ve obstaculizado por limitaciones estructurales y falta de infraestructura adecuada.

La energía de fusión nuclear tiene el potencial de transformar el panorama energético global, pero su desarrollo y despliegue deben gestionarse cuidadosamente para evitar la ampliación de

las brechas tecnológicas y económicas entre naciones. Es esencial fortalecer las iniciativas de cooperación internacional, garantizar una transferencia efectiva de tecnología y desarrollar capacidades locales en los países en desarrollo. Solo a través de un enfoque inclusivo y equitativo se podrá asegurar que los beneficios de la fusión nuclear contribuyan al desarrollo sostenible y a la reducción de las desigualdades a nivel mundial.

3 Principales actores de la fusión nuclear

3.1 Unión Europea

3.1.1 Producción, consumo e importación de energía

La Unión Europea es una de las zonas más industrializadas del planeta. Sin embargo, esta industrialización es, en muchas ocasiones, desigual, no solo por países, sino también con profundas desigualdades internas de los propios Estados, lo que se traduce en una gran heterogeneidad de consumos energéticos.

El sector industrial es uno de los mayores consumidores de energía, representando alrededor del 26 % del consumo final, seguido muy de cerca por el transporte, que consume aproximadamente un 25 % del total (European Environment Agency, 2024). Esta estructura contribuye a la vulnerabilidad europea ante fluctuaciones internacionales en precios energéticos y crisis geopolíticas, como la provocada por la guerra en Ucrania.

Además, a pesar de su elevado nivel de industrialización, la Unión Europea no ha logrado aumentar su producción energética interna, incrementando su dependencia del exterior. Desde 2002 hasta 2022, el porcentaje de energía proveniente del exterior ha pasado del 56,3 % al 62,5 % (Eurostat, 2024).

3.1.2 Dependencia tecnológica

La Unión Europea enfrenta un significativo desafío de dependencia tecnológica en el sector energético. Esta situación se refleja claramente en sectores clave como las energías renovables, la industria automotriz y la fabricación de componentes electrónicos críticos, entre otros. De acuerdo con Milena Roveda en su entrevista, Europa se ha quedado rezagada tecnológicamente frente

a competidores globales como China y Estados Unidos, especialmente en áreas críticas para la transición energética y digital.

Un sector especialmente relevante es el de las energías renovables, donde China ha consolidado una posición dominante en tecnologías solares y eólicas. De acuerdo con la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2023b), China controla más del 80 % de la producción mundial de paneles solares y casi el 70 % de componentes esenciales para turbinas eólicas. Esta dependencia genera vulnerabilidades estratégicas para la Unión Europea, dificultando su objetivo de independencia energética y tecnológica.

La situación es similar en la industria automotriz, donde Europa ha perdido protagonismo tecnológico frente a otros actores internacionales. Roveda señala que la industria automotriz europea tradicional, históricamente sólida, está siendo desplazada por la creciente penetración de vehículos eléctricos fabricados en China.

Otra área crítica es la fabricación de semiconductores, esenciales para múltiples aplicaciones tecnológicas, desde la automoción hasta infraestructuras energéticas inteligentes. Europa en la actualidad produce menos del 10 % de los semiconductores que consume, dependiendo en gran medida de proveedores en Estados Unidos y Asia, principalmente Taiwán y Corea del Sur (*European Commission*, 2025a).

La dependencia tecnológica también se manifiesta en el sector energético nuclear, donde Europa depende significativamente de la importación de uranio enriquecido y tecnologías relacionadas desde terceros países. Roveda destaca en concreto que la fusión nuclear podría reducir esta dependencia tecnológica y energética, dado que no requiere materiales críticos provenientes de regiones políticamente inestables o de competidores geopolíticos.

Por último, el retraso europeo en el desarrollo de tecnologías emergentes como la IA también incrementa su vulnerabilidad tecnológica. En su extenso reporte de 2023, Mario Draghi advierte de que Europa se enfrenta a una brecha tecnológica creciente en IA comparado con Estados Unidos y China, lo que podría repercutir negativamente en múltiples sectores económicos, incluida la gestión inteligente de redes energéticas, fundamentales para el aprovechamiento eficiente de recursos energéticos futuros como la fusión nuclear (Draghi, 2023). Precisamente, una de las claves del desarrollo de la IA es la ingente cantidad de energía que requieren sus servidores (Ritchie, 2024) por lo que la disponibilidad de una fuente de energía estable, segura y abundante, como

sería la fusión nuclear, resultaría determinante para mantener la competitividad europea en este ámbito estratégico.

3.1.3 Relación con países exportadores

Las relaciones energéticas entre la UE y los países exportadores de energía son fundamentales para entender la dinámica económica y geopolítica del continente. La elevada dependencia europea de las importaciones energéticas, que en 2022 alcanzó el 62,5 % (Eurostat, 2024), limita su autonomía estratégica y tiene profundas implicaciones políticas y económicas.

Rusia ha sido a lo largo de la historia uno de los principales proveedores energéticos de la UE, especialmente en cuanto al gas natural. Antes de la invasión rusa a Ucrania en 2022, más o menos el 40 % del gas importado por la UE provenía de Rusia (European Council, 2025). Esta fuerte dependencia generó vulnerabilidades críticas, limitando la capacidad de maniobra de la UE y condicionando sus políticas exteriores y domésticas.

Noruega, que suministra alrededor del 30 % del gas natural consumido en Europa, es otro socio clave para la UE (European Council, 2025). Las relaciones energéticas entre ambas partes se caracterizan por una cooperación estable y duradera, basada en acuerdos claros y transparentes que contribuyen significativamente a la seguridad energética europea.

Estados Unidos se ha consolidado recientemente como un proveedor estratégico de gas natural licuado (GNL), llegando a cubrir el 20 % de las importaciones europeas de este recurso en 2023 (European Council, 2025). El incremento de las importaciones desde EE. UU. refleja una clara estrategia europea orientada a diversificar sus fuentes energéticas, reducir la dependencia de proveedores como Rusia y reforzar la alianza transatlántica. Esta cooperación energética no solo mejora la seguridad del suministro, sino que también tiene implicaciones positivas para las relaciones diplomáticas generales entre la UE y EE. UU., facilitando una coordinación más amplia en ámbitos políticos y económicos (European Commission, 2024a).

Por otro lado, los países del golfo Pérsico y Oriente Medio continúan desempeñando un papel esencial en el suministro de petróleo a Europa, proporcionando flexibilidad y estabilidad relativa en el mercado global debido a su capacidad para ajustar la producción rápidamente ante fluctuaciones económicas. Estas rela-

ciones implican un delicado equilibrio diplomático, donde la UE busca mantener acuerdos comerciales favorables mientras gestiona consideraciones geopolíticas complejas asociadas a cuestiones de estabilidad regional, derechos humanos y conflictos locales (European Commission, 2023b).

En definitiva, la fuerte dependencia energética europea tiene importantes consecuencias económicas y geopolíticas. Las crisis derivadas de interrupciones en el suministro han evidenciado la necesidad urgente de diversificar fuentes de energía y fortalecer la autonomía estratégica. La apuesta por el desarrollo de energías renovables y potencialmente la fusión nuclear se presentan como opciones esenciales para reducir la vulnerabilidad energética europea y fortalecer su posición internacional.

3.1.4 Tensiones internas debidas a la energía

La energía representa uno de los principales factores de tensión interna dentro de la Unión Europea, especialmente debido a las diferencias sustanciales entre Estados miembros respecto a sus matrices energéticas, dependencia de importaciones y objetivos en materia de transición energética. Estas tensiones surgen de múltiples causas, entre ellas la disparidad en infraestructuras, la desigualdad económica y las diferentes prioridades políticas de cada Estado miembro, lo que dificulta el consenso en políticas energéticas comunes.

Una fuente importante de tensiones internas es la disparidad en la dependencia energética entre países europeos. Algunos países, como Alemania o Italia, tienen altos niveles de dependencia de importaciones energéticas, especialmente en hidrocarburos, mientras otros, como Francia, tienen una mayor autonomía gracias a una significativa producción nuclear interna (Eurostat, 2024). Estas diferencias han dificultado tradicionalmente una posición europea unificada frente a crisis energéticas internacionales, evidenciado por las dificultades para responder colectivamente durante la reciente crisis derivada de la invasión rusa de Ucrania (European Council, 2024).

El aumento de precios de la energía también ha contribuido significativamente a estas tensiones. La crisis energética reciente ha generado protestas sociales y conflictos políticos internos en países como España, Francia e Italia, reflejando descontento ciudadano ante el creciente coste de vida provocado por los altos precios energéticos. Estas situaciones han empujado a varios

gobiernos a adoptar medidas de intervención en los mercados energéticos, a veces contradiciendo el marco regulatorio comunitario, lo que genera fricciones adicionales entre Bruselas y las capitales nacionales.

3.1.5 La Unión Europea frente al cambio climático y la transición energética

La Unión Europea (UE) se ha consolidado como líder global en la acción climática, adoptando un enfoque único frente a otras grandes economías. Cuenta con una estrategia conjunta —el Pacto Verde Europeo— que guía a sus veintisiete países hacia la neutralidad climática en 2050. Esta meta (ser el primer continente climáticamente neutro) está consagrada por ley mediante la Ley Europea del Clima, que fija objetivos vinculantes de reducción de emisiones de al menos 55 % para 2030 y neto cero para 2050 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021). No obstante, alcanzar estos objetivos exige transformar profundamente un sistema energético todavía marcado por dependencias externas y limitaciones estructurales.

La Comisión Europea señala que el ITER ejemplifica el compromiso a largo plazo de la UE con la neutralidad climática de 2050. Si la fusión alcanza sus promesas, podría incorporarse al mix energético europeo en la segunda mitad de siglo como una fuente segura, sin carbono y prácticamente inagotable, complementando a las energías renovables en la consecución de los objetivos climáticos (European Commission, 2021).

3.1.6 Interés estratégico en la fusión nuclear

La UE considera la energía de fusión nuclear un pilar estratégico a largo plazo dentro de sus políticas energética, climática y tecnológica. A diferencia de la fisión, la fusión promete ser segura, sostenible y prácticamente libre de emisiones de carbono, sin riesgo de reacción descontrolada ni residuos radiactivos de alta actividad a muy largo plazo.

La capacidad de la fusión de generar enormes cantidades de energía con cantidades diminutas de combustible, y el uso de isótopos abundantes (deuterio extraído del agua de mar y litio para producir tritio) en lugar de combustibles fósiles importados, reducirían drásticamente la dependencia de Europa de proveedores externos. La participación europea en proyectos de fusión

se concibe como una apuesta por una tecnología disruptiva que podría integrar el mix energético europeo en la segunda mitad del siglo (European Commission, 2025b), complementando a las energías renovables para formar un sistema eléctrico libre de carbono.

3.1.7 Iniciativas y cooperación internacional

El liderazgo europeo en fusión nuclear se materializa a través de grandes iniciativas de investigación y acuerdos de cooperación internacional. Bajo el paraguas del Tratado Euratom (1957), la UE ha coordinado durante décadas los esfuerzos de sus Estados miembros en materia nuclear, impulsando la investigación en fusión desde sus primeras etapas (European Commission, 2021). La UE desempeña un papel protagonista en ITER, al aportar aproximadamente el 45 % de la financiación total del proyecto (ITER, 2024).

La UE considera a ITER pieza clave de su hoja de ruta hacia la energía de fusión comercial, y, por ello, las instituciones europeas y los Estados miembros han mantenido su compromiso pese a los desafíos. En 2018, el Consejo de la UE reafirmó el apoyo europeo unánime a la «exitosa finalización de ITER», subrayando su carácter esencial para la realización de la fusión en el largo plazo, e instó a garantizar los fondos necesarios en los presupuestos plurianuales sucesivos, que alcanzan los 4500 millones de euros en total para el ciclo 2021-2027 (Fusion for Energy, 2018).

3.1.8 Financiación y regulación

El compromiso de la UE con la fusión nuclear se refleja en un sostenido apoyo financiero y en la adaptación progresiva de sus marcos regulatorios para viabilizar esta tecnología. En términos de financiación, la UE mantiene un flujo constante de inversión multimillonaria para la investigación en fusión y la construcción de grandes instalaciones. El capítulo más oneroso de la financiación recae en ITER, dada su escala sin precedentes. En el Marco Financiero Plurianual 2021-2027, la UE asignó 5610 millones de euros para cubrir su contribución a ITER durante dicho periodo (European Commission, 2024b).

Por otro lado, a medida que la fusión avanza hacia la fase de demostración, surge la necesidad de un marco regulatorio y normativo adecuado. Actualmente, las instalaciones de fusión en

Europa (como JET o futuras plantas experimentales) operan bajo reglamentaciones nucleares nacionales e internacionales diseñadas principalmente para la fisión, ya que no existe aún un marco legal específico de la UE para regular la energía de fusión. Sin embargo, la naturaleza distinta de la fusión —sin riesgo de accidente en cadena catastrófico y con residuos radiactivos de vida corta y media— ha llevado a plantear la conveniencia de diferenciar su regulación de la de la energía nuclear convencional.

3.1.9 Impacto geopolítico, económico y energético de la fusión nuclear

Si la energía de fusión cumple sus promesas, las repercusiones para la UE serían profundas en los ámbitos geopolítico, económico y del sistema energético. En el plano energético y climático, la disponibilidad de reactores de fusión comercial en la segunda mitad del siglo XXI brindaría a Europa una fuente prácticamente inagotable de energía limpia. Esto complementaría y consolidaría la transición hacia un sistema descarbonizado (European Commission, 2024b): la fusión podría suplir los periodos de indisponibilidad de las renovables, actuando como respaldo libre de carbono en inviernos largos o noches prolongadas.

Desde la perspectiva geopolítica y de seguridad energética, la implantación de la fusión tendría un impacto transformador para Europa. Lograr la independencia de recursos energéticos extranjeros cambiaría las relaciones exteriores de la UE: países tradicionalmente proveedores de hidrocarburos podrían perder peso estratégico si la demanda europea de gas y petróleo disminuye drásticamente en favor de la fusión y otras fuentes limpias. Europa fortalecería su posición al no estar supeditada a importaciones de energía con precios volátiles, ganando margen de maniobra en su política exterior.

En el aspecto económico-industrial, las oportunidades son igualmente notables. El desarrollo de la energía de fusión configura un sector industrial de altísimo valor tecnológico, que abarca desde ingeniería avanzada hasta nuevas industrias de suministro de componentes. La UE ya está experimentando beneficios económicos tempranos gracias a ITER: miles de empleos especializados han sido creados y empresas europeas han ganado contratos de ingeniería civil, fabricación de imanes superconductores, sistemas criogénicos, entre otros (Rademaekers *et al*., 2018).

3.2 Estados Unidos

3.2.1 Producción, consumo y comercio de energía

Estados Unidos es una de las economías más grandes e industrializadas del planeta, y también uno de los mayores consumidores de energía a nivel mundial. Esta demanda energética es resultado tanto de su fuerte base industrial como de su elevado nivel de vida, su modelo urbano extensivo y su sistema de transporte muy dependiente del vehículo privado.

En contraste con la Unión Europea, Estados Unidos mantiene un alto grado de autosuficiencia energética. Gracias al desarrollo de fuentes no convencionales como el *shale oil* y el *shale gas*, ha pasado de ser un importador neto a convertirse en uno de los principales exportadores de energía del mundo. Esta situación le otorga una posición geopolítica más ventajosa y una menor vulnerabilidad frente a crisis energéticas internacionales (EIA, 2024).

Estados Unidos combina un elevado consumo total y per cápita con una capacidad interna de producción que le permite reducir su exposición externa. Sin embargo, esta situación de fortaleza global no elimina las disparidades territoriales ni los desafíos de sostenibilidad que enfrenta a largo plazo.

3.2.2 Innovación y liderazgo tecnológico

Estados Unidos se posiciona como uno de los líderes globales en innovación tecnológica en el ámbito energético, sustentado por una potente inversión pública y privada en investigación, desarrollo e implementación de nuevas tecnologías. Uno de los campos en los que Estados Unidos ha destacado es en el almacenamiento energético a gran escala. El país ha experimentado una rápida expansión en la instalación de baterías estacionarias, alcanzando una capacidad instalada de más de veintiséis gigavatios en 2024. Esta cifra representa un crecimiento significativo del 66 % con respecto al año anterior (EIA, 2024). La proliferación de estas baterías facilita la integración eficiente de fuentes renovables intermitentes, como la energía solar y eólica, fortaleciendo la estabilidad y flexibilidad de la red eléctrica nacional.

Adicionalmente, el país destaca en tecnologías emergentes como los reactores nucleares modulares, que se perfilan como

una alternativa prometedora para la generación estable y baja en emisiones. Proyectos piloto liderados por el Departamento de Energía y empresas privadas están desarrollando esta tecnología para facilitar una futura transición hacia un sistema eléctrico más descarbonizado (Baldwin *et al*., 2025).

Finalmente, Estados Unidos está invirtiendo en tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, promoviendo proyectos de infraestructura específicos que buscan reducir significativamente las emisiones industriales y energéticas. Estas iniciativas se encuentran en fase avanzada de investigación y desarrollo, con apoyo financiero sustancial del gobierno federal, apuntando a consolidar el liderazgo tecnológico del país en la transición energética global.

3.2.3 Geopolítica energética: aliados y rivales

Estados Unidos desempeña un papel clave en la geopolítica energética global debido a su posición como importante productor, consumidor y exportador de energía. Su autosuficiencia energética relativa, especialmente gracias al auge del *shale gas* y *shale oil*, proporciona al país un margen estratégico considerable, reduciendo significativamente su dependencia de importaciones de energía y aumentando su influencia política y económica internacional (EIA, 2024).

Canadá es el principal socio energético de Estados Unidos, suministrando alrededor del 62 % del total de petróleo importado en 2023, así como una porción significativa del gas natural consumido en el país (EIA, 2024). Esta estrecha colaboración se basa en una infraestructura compartida robusta, incluyendo oleoductos y gasoductos transfronterizos, que facilita un suministro energético estable y seguro, fortaleciendo la alianza estratégica norteamericana y proporcionando estabilidad geopolítica.

Por otro lado, México también es un socio energético relevante, especialmente en cuanto a las exportaciones estadounidenses de gas natural y productos refinados de petróleo. El comercio energético con México no solo tiene implicaciones económicas significativas, sino que también juega un papel importante en la estabilidad regional y en las relaciones diplomáticas bilaterales entre ambos países.

La competencia estratégica en el ámbito energético enfrenta a Estados Unidos principalmente con Rusia y países de Oriente

Medio como Arabia Saudita. El rápido aumento de las exportaciones estadounidenses de GNL ha generado tensión comercial y geopolítica con Rusia, al reducir su tradicional dominio en los mercados energéticos europeos. Esta dinámica ha contribuido a realinear alianzas, reforzando vínculos con aliados europeos como parte de una estrategia conjunta para disminuir la dependencia energética europea respecto a Rusia (Escribano, 2025).

En Oriente Medio, Estados Unidos mantiene una relación compleja con Arabia Saudita y otros productores del golfo Pérsico. Aunque existe cooperación estratégica para mantener la estabilidad del mercado petrolero mundial, también se producen fricciones derivadas de diferencias políticas y diplomáticas, incluyendo temas relacionados con derechos humanos y conflictos regionales. Esta situación obliga a Estados Unidos a equilibrar cuidadosamente sus intereses energéticos y geopolíticos en la región (Cook, 2024).

Finalmente, la creciente rivalidad tecnológica y energética con China representa un desafío estratégico significativo. China, líder global en tecnologías renovables, compite directamente con Estados Unidos en mercados clave como las energías limpias y la infraestructura energética crítica, lo que acentúa la competencia tecnológica y geopolítica entre ambos países (IEA, 2023b).

3.2.4 El pragmatismo estadounidense ante la transición energética

Estados Unidos afronta la transición energética con un enfoque descentralizado y marcadamente pragmático. Sin una ley federal integral que imponga la neutralidad climática, el país presenta un panorama heterogéneo, con estados líderes como California o Nueva York que implementan ambiciosas políticas de descarbonización, mientras otros muestran una resistencia considerable a modificar sus modelos energéticos tradicionales (Setzer *et al*., 2024).

Este enfoque se ha consolidado con la aprobación de *la Inflation Reduction Act* en 2022, considerada la mayor inversión climática de la historia del país. La ley destina cerca de 370 000 millones de dólares a tecnologías limpias a través de créditos fiscales, subvenciones y ayudas directas orientadas a la expansión de las energías renovables, la electrificación del transporte, el almacenamiento energético, el hidrógeno limpio y la captura y almacenamiento de carbono (CCS) (U.S. Department of Energy, 2023). En lugar de imponer objetivos vinculantes de reducción de

emisiones, esta política busca transformar el sistema energético mediante la atracción de capital privado y el desarrollo de nuevos mercados (Hughes, 2022).

No obstante, la política climática estadounidense ha estado marcada por importantes oscilaciones derivadas del cambio de signo político en la Casa Blanca. Estados Unidos ha abandonado formalmente en varias ocasiones compromisos internacionales clave, como el Protocolo de Kioto (en 2001) y el Acuerdo de París (en 2020 y 2025). Estas rupturas reflejan la polarización interna sobre el cambio climático y generan incertidumbre a nivel global sobre el compromiso a largo plazo del país con la descarbonización (The White House, 2025).

Pese a ello, EE. UU. mantiene una estrategia sólida de apoyo a la innovación tecnológica, especialmente en sectores emergentes como la energía de fusión nuclear. Esta combinación de pragmatismo, incentivos económicos y liderazgo tecnológico refleja el enfoque distintivo de Estados Unidos en la transición energética, en la que la fusión nuclear se perfila como una apuesta estratégica a largo plazo.

3.2.5 Interés y estrategias en fusión nuclear

El interés de Estados Unidos en la energía de fusión nuclear se ha visto revitalizado por su potencial como fuente abundante y libre de carbono para asegurar la transición energética y el liderazgo tecnológico del país. La pasada administración Biden destacó la fusión como una tecnología disruptiva para alcanzar las metas de electricidad 100 % limpia en 2035 y cero emisiones netas en 2050, así como para reforzar el liderazgo de EE. UU. en la economía del siglo XXI (The White House, 2024).

Un aspecto relevante de la estrategia estadounidense sobre la fusión nuclear se relaciona directamente con la seguridad nacional, en particular con el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore (LLNL). El Gobierno de EE. UU. considera el LLNL no solo como un centro de investigación energética, sino también como un «campo de pruebas virtual» para armas nucleares. La técnica empleada en el LLNL, conocida como confinamiento inercial, permite estudiar y simular fenómenos físicos similares a los de una detonación termonuclear, pero en condiciones controladas y de laboratorio, sin incumplir el Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBT). Esto proporciona a Estados Unidos información clave para mantener la seguridad,

fiabilidad y eficacia de su arsenal nuclear sin realizar explosiones reales, reforzando así la conexión estratégica entre la investigación en fusión nuclear civil y la política de defensa del país (Mann y Wiper, 2022).

Este enfoque integrado refleja la prioridad estratégica que Washington otorga a la fusión: además de ser parte esencial de su agenda climática, la considera un ámbito en el que debe asegurar el liderazgo frente a otros competidores globales, dada la creciente percepción de que «la fusión se ha convertido en una carrera global». Al mismo tiempo, esta visión estratégica también se conecta directamente con la seguridad nacional.

3.2.6 Proyectos públicos y privados en fusión nuclear

Estados Unidos cuenta con una amplia gama de proyectos de fusión, tanto de iniciativa pública como privada, que conjuntamente conforman el ecosistema de I+D en este campo. En el sector público, el Departamento de Energía (DOE) financia laboratorios nacionales y universidades líderes en ciencia de plasmas y fusión, así como la participación estadounidense en el proyecto internacional ITER en Francia (Miller, 2023).

En paralelo, el sector privado estadounidense de fusión ha florecido en la última década, atrayendo inversiones de capital riesgo sin precedentes. Existen actualmente decenas de *startups* y empresas enfocadas en lograr reactores de fusión comercial, con enfoques diversos: desde *tokamaks* compactos de alto campo hasta conceptos alternativos como los reactores de haces de partículas de TAE Technologies o los sistemas de compresión magnética acelerada de *Helion Energy*.

Para aprovechar sinergias, el Gobierno ha lanzado programas de colaboración público-privada como INFUSE (*Innovation Network for Fusion Energy*) y el *Milestone-Based Development Program*, que apoyan con fondos compartidos proyectos en los que laboratorios nacionales trabajan junto a empresas emergentes (The White House, 2023). Esta integración de esfuerzos públicos y privados es un rasgo distintivo de la estrategia estadounidense: busca reproducir en la fusión el modelo de éxito de otras industrias tecnológicas, combinando la inversión gubernamental en investigación básica con la agilidad e innovación del sector privado.

3.2.7 Financiación y marco regulatorio de la fusión en EE. UU.

EE. UU. es un caso único de financiación de la investigación de fusión, al conjugar generosas subvenciones públicas con una fuerte apuesta por parte de la empresa privada. Esta convergencia de capital público y privado está creando un ecosistema robusto; no obstante, se reconoce que aún podrían requerirse decenas de miles de millones de dólares adicionales para llevar la fusión desde los experimentos actuales hasta plantas comerciales a gran escala (Qihan Zou, 2024).

En el plano regulatorio, Estados Unidos ha tomado pasos importantes para adecuar sus normas al carácter particular de las instalaciones de fusión, diferenciándolas de los reactores nucleares de fisión. Hasta fechas recientes, no existía un marco específico y las plantas de fusión podían quedar sujetas por analogía a la estricta regulación nuclear convencional. Sin embargo, en 2023 la Comisión Reguladora Nuclear (NRC) decidió clasificar los reactores de fusión proyectados bajo la categoría de «materia prima o derivada» en lugar de tratarlos como «instalaciones de utilización» tipo fisión. Esto implica requisitos de licenciamiento más flexibles y proporcionales al menor riesgo de la fusión, dado que en esta no existe posibilidad de reacción en cadena descontrolada ni se emplean materiales fisibles que puedan usarse directamente en armas (Zhang, 2024).

En la práctica, este marco regulatorio adaptado reduce barreras administrativas y costos para las empresas que desarrollan prototipos de fusión, al tiempo que mantiene las precauciones necesarias sobre el manejo de tritio y la seguridad radiológica de los componentes activados. Con estas medidas, EE. UU. busca equilibrar seguridad y promoción de la innovación, evitando que una sobrerregulación frene el incipiente sector de la fusión.

3.2.8 impacto geopolítico, económico y energético de la fusión nuclear

El desarrollo exitoso de la fusión nuclear tendría consecuencias de gran alcance para Estados Unidos en los ámbitos geopolítico, económico y energético. En primer lugar, consolidaría el liderazgo geoestratégico estadounidense. Dominar la tecnología de fusión supone asegurar una posición privilegiada en la futura estructura de poder global, al controlar una fuente de energía prácticamente inagotable y limpia. Varios analistas destacan que la nación que primero logre implementar reactores de fusión operativos podría dominar el mercado energético del futuro, obteniendo una ven-

taja de primer jugador difícil de revertir por décadas (Qihan Zou, 2024), y permitiendo proyectar su influencia mediante la exportación de tecnología y el establecimiento de acuerdos energéticos.

En términos económicos, la fusión nuclear exitosa representaría un salto industrial y de competitividad para Estados Unidos. Como nuevo sector energético, crearía posiblemente cientos de miles de empleos especializados y empresas alrededor del diseño, construcción y mantenimiento de plantas de fusión, con efectos multiplicadores en la economía.

En el plano energético y medioambiental, el impacto para EE. UU. sería igualmente transformador. La incorporación de la fusión al mix eléctrico permitiría a Estados Unidos alcanzar sus metas climáticas de 2050 con mayor facilidad, al proveer energía firme (no intermitente) y libre de emisiones de CO_2 que complementaría a las fuentes renovables (Qihan Zou, 2024).

3.3 China

3.3.1 crecimiento económico y consumo energético

Desde finales del siglo xx, China ha experimentado un crecimiento económico sin precedentes, impulsando una rápida industrialización y urbanización y elevando de manera significativa la demanda energética nacional (Huld, 2023). El consumo de energía refleja claramente esta dinámica. Mientras que el uso residencial se ha mantenido relativamente estable, el transporte y, sobre todo, la industria ha concentrado el grueso del aumento del consumo energético, en línea con el peso creciente del sector industrial en la economía china.

El mix energético del país ha estado dominado tradicionalmente por los combustibles fósiles, en particular el carbón. En 2023, este representaba el 60,8 % de la producción eléctrica, frente a un 3,1 % del gas natural. Aunque en los últimos años China ha incrementado de forma notable su capacidad en energías renovables, la magnitud de la demanda energética mantiene al carbón como pilar central del sistema.

Como resultado, China continúa ampliando su capacidad térmica para sostener el crecimiento económico y cubrir las necesidades industriales y residenciales, evidenciando la persistente depen-

dencia de los combustibles fósiles en un contexto de consumo energético a gran escala.

3.3.2 Seguridad energética y proyección internacional

La búsqueda de seguridad energética por parte de China implica inversiones significativas en campos de petróleo y gas en el extranjero, particularmente en África y Asia Central. Estos esfuerzos están diseñados para establecer cadenas de suministro a largo plazo y reducir la vulnerabilidad a interrupciones geopolíticas. Como indican Öğütçü y Öğütçü, una de las claves de esta estrategia incluye el desarrollo de una red de oleoductos y gaseoductos terrestres con países como Kazajistán, Turkmenistán y Uzbekistán para reducir su dependencia del transporte a través del estrecho de Malaca (Öğütçü y Öğütçü, 2017).

Estas inversiones generan relaciones asimétricas de dependencia, en las que los países proveedores dependen crecientemente del mercado chino, mientras Pekín consolida su acceso a recursos estratégicos y refuerza su poder de negociación regional.

La diplomacia energética de China refleja un enfoque dual: asegurar recursos para impulsar su crecimiento económico mientras se posiciona como un actor central en la gobernanza energética global. Al participar activamente en iniciativas energéticas internacionales y fomentar asociaciones bilaterales y multilaterales, China busca moldear un orden energético global que acomode sus intereses y promueva la estabilidad en los mercados energéticos.

3.3.3 Transición energética

La transición energética de China es un componente esencial de su estrategia nacional para equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental y la seguridad energética. Como el mayor consumidor y productor de energía a nivel mundial (IEA, 2022), China ha implementado políticas y realizado inversiones significativas para transformar su matriz energética hacia fuentes más limpias y renovables.

Internamente, China ha adoptado políticas para equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental. La promulgación de leyes energéticas recientes refleja este compromiso, promoviendo el desarrollo de energías renovables y apuntando hacia la neutralidad de carbono. Entre esta legislación, destaca la última ley

de energía, efectiva desde inicios de 2025, cuyo fin último es alcanzar la neutralidad de carbono en el año 2060 (Pozzi, 2025).

Para alcanzar la neutralidad de carbono en 2060, se estima que China necesitará instalar alrededor de 10 000 GW de capacidad de energías renovables, un objetivo que requerirá una expansión masiva de las infraestructuras y una inversión continua en tecnologías limpias (Zhongying y Sandholt, 2025). Sin embargo, esta transición convive con una fuerte inercia fósil: pese al despliegue masivo de renovables, China continúa ampliando su capacidad de generación a carbón para garantizar la estabilidad del sistema eléctrico y sostener el crecimiento económico.

Asimismo, es de destacar la fuerte apuesta por la energía nuclear, por la cual China pretende aumentar su generación de energía nuclear desde 10 GW hasta 277 GW entre 2010 y 2050 (IEA, 2023c). Esta estrategia explica, en parte, el interés posterior de China por la energía de fusión, apoyado en una base industrial y tecnológica ya consolidada.

3.3.4 Interés estratégico en la fusión nuclear

China considera la energía de fusión nuclear como un componente estratégico de su desarrollo a largo plazo, tanto para garantizar su seguridad energética como para consolidar su posición tecnológica global. Como gran importador neto masivo de petróleo y gas, Beijing percibe la dependencia energética externa como una vulnerabilidad de seguridad nacional (Qihan Zou, 2024). En este contexto, la fusión nuclear ofrecería, de lograrse comercialmente, una fuente casi inagotable de energía autóctona, reduciendo de forma estructural su exposición a los mercados internacionales de combustibles fósiles.

El interés de China en la fusión también está motivado por objetivos medioambientales y económicos internos. El país sigue dependiendo fuertemente del carbón para su generación eléctrica —más de la mitad de la electricidad china aún proviene de centrales a carbón—, lo que genera graves problemas de contaminación atmosférica y emisiones de CO_2. En este contexto, la fusión aparece en la planificación china como una solución a largo plazo para reemplazar gradualmente las plantas de carbón y satisfacer la creciente demanda energética con energía limpia constante.

Finalmente, la fusión representa para China una oportunidad estratégica de liderazgo tecnológico. El Gobierno chino entiende

que adelantarse en su desarrollo le permitiría dictar estándares, acumular propiedad intelectual y obtener una ventaja industrial competitiva difícil de revertir, reforzando su posición en la próxima generación de tecnologías energéticas.

3.3.5 Capacidades tecnológicas y estratégicas chinas en fusión nuclear

China se ha posicionado como un actor central en la carrera por la fusión nuclear, impulsando diversos proyectos que combinan la investigación científica con objetivos geoestratégicos. En su más reciente plan quinquenal, Beijing situó la fusión nuclear entre las máximas prioridades nacionales, respaldándola con una inversión estimada de mil quinientos millones de dólares anuales (aproximadamente el doble del presupuesto de EE. UU. en investigación de fusión nuclear) (BGR Group, 2024).

Uno de los pilares de este esfuerzo es el *Experimental Advanced Superconducting Tokamak* (EAST), un reactor experimental ubicado en Hefei y operado por la Academia China de Ciencias. Inaugurado en 2006 como el primer *tokamak* totalmente superconductivo de sección no circular en el mundo (BGR Group, 2024), EAST ha servido desde entonces de plataforma de pruebas abierta para científicos chinos e internacionales.

En paralelo, China está desarrollando el *China Fusion Engineering Test Reactor* (CFETR), concebido como eslabón intermedio entre los experimentos actuales y una futura planta de demostración comercial. El diseño de ingeniería del CFETR se completó en 2020 y las autoridades planean iniciar su construcción en el transcurso de esta década (IAEA, 2022).

A esta dimensión doméstica se suma la participación china en proyectos internacionales como ITER, que refuerza su perfil como actor científico cooperativo y le permite acumular experiencia en grandes programas de fusión a escala global.

3.3.6 Impacto geopolítico de la fusión nuclear

El posible advenimiento de la energía de fusión comercial en China tendría profundas implicaciones geopolíticas, alterando equilibrios de poder y dinámicas económicas a nivel global. En primer lugar, si China logra dominar la tecnología de fusión, transformaría su posición en el sistema energético mundial: pasaría de ser el mayor importador de recursos energéticos a convertirse en

un exportador neto de tecnología y quizás de energía (mediante proyectos en terceros países). A nivel doméstico, la fusión le permitiría a China alcanzar sus objetivos de desarrollo sostenible, garantizando energía abundante sin los estrangulamientos de importación que hoy condicionan su seguridad nacional.

Un éxito chino en fusión daría un impulso enorme al poder blando del país: sería presentado como un triunfo del modelo chino de inversión a largo plazo en ciencia e ingeniería, y como una contribución de China a la humanidad (Carayannis *et al*., 2021) Pekín podría ofrecer reactores de fusión o asistencia técnica a otras naciones, especialmente en el sur global, como parte de iniciativas de cooperación, potencialmente dentro del marco de la Iniciativa de la Franja y la Ruta (BRI).

En conclusión, la apuesta de China por la fusión nuclear no es solamente científica o económica, sino geopolítica en esencia. El país vislumbra la fusión como un disruptor del orden energético global que puede jugar a su favor: una vez dominada, le permitiría reconfigurar las relaciones de poder basadas en energía, ganar autonomía estratégica y proyectar su poder de nuevas formas.

4 Conclusiones

Al finalizar este trabajo, el consenso entre las fuentes consultadas y los expertos entrevistados es claro: la energía de fusión no estará lista para su uso práctico antes de 2045. Aunque hoy se conocen bien los principios científicos que la hacen posible y existen numerosos proyectos —tanto públicos como privados— dedicados a desarrollarla, todavía quedan por resolver importantes desafíos técnicos. Entre ellos se encuentran la dificultad de mantener el plasma a temperaturas extremas durante largos periodos de tiempo, la necesidad de regenerar y recuperar el tritio que sirve como combustible, o el desarrollo de materiales capaces de soportar las condiciones extremas del interior de un reactor de fusión. Incluso en el escenario más optimista, en el que se logre poner en marcha una primera generación de reactores funcionales hacia mediados de siglo, su rentabilidad económica no se alcanzaría hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XXI.

Por lo tanto, aunque la energía de fusión podría alcanzar la viabilidad técnica en los próximos veinte años, los elevados costes de desarrollo e implantación hacen muy improbable que esta sea rentable económicamente.

Queda por determinar si el éxito se alcanza a través de un liderazgo del sector industrial, con financiación público-privada, como proponen empresas como *Gauss Fusion*, o si serán los grandes proyectos de investigación estatal y de colaboración internacional los que logren el objetivo final. El análisis realizado apunta a que la balanza se inclina hacia la visión de Joaquín Sánchez, en línea con autores como Parisi y Ball, quienes subrayan el papel central del liderazgo público en el éxito de esta tecnología. La gran inversión de actores como China y la Unión Europea, sumada a la incertidumbre a corto plazo de los proyectos privados, apunta a que la vía más probable sea la impulsada por estrategias estatales a largo plazo. No obstante, es importante destacar la importancia de la industria a la hora de construir las centrales nucleares, una vez asegurada la viabilidad comercial de la energía de fusión.

Desde una perspectiva geopolítica y energética, la fusión nuclear destaca por su enorme potencial disruptivo. No obstante, el alcance real de su impacto dependerá de cómo y hasta qué punto llegue a implementarse, así como de los marcos políticos, tecnológicos e institucionales en los que se integre.

La posibilidad de generar grandes cantidades de energía limpia y constante utilizando cantidades mínimas de combustible —a partir de recursos ampliamente disponibles como el deuterio y el litio— constituye una oportunidad estratégica sin precedentes para aquellos Estados que consigan dominar esta tecnología.

En el caso de la Unión Europea, la fusión se presenta como una herramienta clave para reducir drásticamente la dependencia energética del exterior, garantizar la estabilidad del suministro y reforzar su competitividad industrial a largo plazo. Esta apuesta se refleja claramente en el proyecto ITER, así como su liderazgo en coordinación científica mediante iniciativas como EUROfusion, que evidencian un compromiso sostenido en el tiempo.

Este compromiso no se limita al ámbito europeo. La implicación de la Unión Europea en proyectos internacionales como el JT-60SA en Japón o el K-STAR en Corea del Sur subraya su voluntad de alcanzar el liderazgo científico y mantener la cooperación internacional en el desarrollo de la fusión nuclear. Además, su esfuerzo regulatorio específico para adaptar el marco normativo a las particularidades de la fusión, simplificando procedimientos y diferenciándola claramente de la fisión nuclear, es otro indicativo de su apuesta estratégica.

Si la apuesta tiene éxito, la independencia energética de la Unión Europea mejoraría drásticamente, y podría convertirse en un revulsivo para mejorar la cohesión entre los Estados miembros, al facilitar políticas energéticas comunes y mitigar tensiones internas derivadas de la desigualdad en autosuficiencia energética.

Estados Unidos adopta un enfoque claramente dual en su apuesta por la energía de fusión. Por un lado, mantiene una sólida inversión pública en investigación fundamental a través de instituciones como el *National Ignition Facility* (NIF) y una fuerte apuesta por iniciativas privadas, reflejada en startups *como Helion Energy* o *TAE Technologies*. Esta combinación fomenta un marco de innovación ágil, capaz de adaptarse rápidamente a cambios tecnológicos y regulatorios.

Este modelo se ve reforzado por un sistema regulatorio flexible, diseñado expresamente para reducir las barreras administrativas al sector emergente de la fusión y diferenciar de forma clara esta tecnología de la energía nuclear convencional. Con ello, Estados Unidos busca acelerar la experimentación y atraer inversión privada sin renunciar a los estándares de seguridad necesarios.

No obstante, la apuesta estadounidense por la fusión no se limita al ámbito civil. El papel del NIF como herramienta para simular ensayos nucleares de forma segura y compatible con los tratados internacionales pone de manifiesto que la fusión también es percibida como un activo estratégico en el ámbito de la defensa. Esta dimensión militar subraya una característica clave del enfoque estadounidense: la fusión es entendida no solo como una futura fuente de energía, sino también como un elemento central de su poder tecnológico y estratégico.

China, a diferencia de otros actores, concibe la fusión nuclear como una herramienta esencial para asegurar su crecimiento económico, garantizar el suministro interno de energía a largo plazo y reducir su dependencia de combustibles fósiles importados, especialmente petróleo y gas natural, cuyos flujos comerciales actualmente condicionan su política exterior.

Su considerable capacidad inversora, manifestada en proyectos clave como el reactor experimental EAST y la planificación del reactor piloto CFETR, su ambicioso calendario de proyectos y su liderazgo global en patentes relacionadas con la fusión nuclear, evidencian una estrategia estatal decidida y sostenida. Además, la inclusión de la fusión dentro del marco estratégico de iniciativas internacionales como la BRI, ilustra claramente la intención

china de utilizar esta tecnología no solo como herramienta de seguridad energética, sino también como un medio para consolidar y expandir su influencia global y tecnológica.

Por lo tanto, se puede considerar la intención de China de utilizar la investigación en fusión nuclear como una herramienta del país asiático para extender su poder geopolítico más allá de su zona de influencia actual.

En consecuencia, el dominio de esta tecnología permitiría a sus pioneros reducir su exposición geopolítica, condicionar alianzas internacionales e incluso generar nuevos vínculos de dependencia con aquellos países que no dispongan de capacidad tecnológica propia. Por lo tanto, aunque la fusión no vaya a ser una panacea al problema de la energía, al menos a corto plazo, sí puede desempeñar un papel transformador en los sistemas energéticos y en la posición internacional de los actores que lideren su desarrollo.

El dominio de la tecnología de fusión podría implicar cambios sustanciales en el equilibrio global, condicionando las alianzas estratégicas y definiendo un nuevo reparto de poder internacional basado en la innovación tecnológica. En definitiva, la fusión nuclear representa una ventana hacia un futuro energético, geopolítico y económico significativamente distinto al actual, cuyo aprovechamiento dependerá de la visión estratégica y la capacidad tecnológica de los actores que hoy lideran su investigación.

Bibliografía

Alotaiba, T. (2024). Analysis: Why Abu Dhabi is betting on fusion [en línea]. Semafor. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.semafor.com/article/10/21/2024/analysis-why-abu-dhabi-is-betting-on-fusion-tareq-alotaiba

Arnoux, R. (2011). Deuterium: a precious gift from the Big Bang [en línea]. ITER - the way to new energy. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iter.org/node/20687/deuterium-precious-gift-big-bang

Baldwin, D. et al. (2025). DOE distributed energy resource interconnection roadmap [en línea]. U. S. Department of Energy. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.energy.gov/eere/i2x/doe-distributed-energy-resource-interconnection-roadmap

Barbarino, M. (2023). What is nuclear fusion? [en línea]. International Atomic Energy Agency (IAEA). [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion

BGR Group. (2024). China advances nuclear fusion to strengthen comprehensive national power [en línea]. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://bgrdc.com/wp-content/uploads/2024/10/BGR-Analysis_China-Advances-Nuclear-Fusion-to-Strengthen-Comprehensive-National-Power.pdf

Brans, P. (2024). A glimpse into the future for commercial fusion reactors [en línea]. ITER - The way to new energy. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iter.org/node/20687/glimpse-future-commercial-fusion-reactors

Carayannis, E. G., Draper, J. y Bhaneja, B. (2021). Towards fusion energy in the industry 5.0 and society 5.0 context: Call for a global commission for urgent action on fusion energy [en línea]. Journal of the Knowledge Economy. 12(4), pp. 1891-1904. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s13132-020-00695-5

Chatzis, I. y Barbarino, M. (2021). ¿Qué es la fusión y por qué es tan difícil de lograr? [en línea]. IAEA Bulletin. Vol. 62-2. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iaea.org/es/energia-de-fusion/que-es-la-fusion-y-por-que-es-tan-dificil-de-lograr

Clery, D. (2022). With historic explosion, a long sought fusion breakthrough [en línea]. Science. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.science.org/content/article/historic-explosion-long-sought-fusion-breakthrough

Cook, S. A. (2024). Oil and national security: U.S.-Middle East Relations [en línea]. Council on Foreign Relations. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.cfr.org/event/oil-and-national-security-us-middle-east-relations

De Chant, T. (2024). Fusion startup Tokamak Energy attracts $125M for its egg-like reactor design [en línea]. TechCrunch. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://techcrunch.com/2024/11/20/fusion-startup-tokamak-energy-attracts-125m-for-its-egg-like-reactor-design/

Draghi, M. (2023). The Draghi report on EU competitiveness [en línea]. European Commission. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/draghi-report_en

EIA. (2024). U.S. energy facts explained - consumption and production [en línea]. U. S. Energy Information Administration. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/

Escribano, G. (2025). Europa contra el dominio energético [en línea]. Real Instituto Elcano. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.realinstitutoelcano.org/comentarios/europa-contra-el-dominio-energetico/

European Commission (2021). In focus: Fusion power and the ITER Project [en línea]. Directorate-General for Communication. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://commission.europa.eu/news/focus-fusion-power-and-iter-project-2021-05-17_en

—. (2023a). EU and Japan celebrate start of operations of the JT-60SA fusion reactor and reaffirm close cooperation on fusion energy [en línea]. Directorate-General for Energy. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://energy.ec.europa.eu/news/eu-and-japan-celebrate-start-operations-jt-60sa-fusion-reactor-and-reaffirm-close-cooperation-fusion-2023-12-01_en

—. (2023b). EU – Gulf relations - European Commission [en línea]. Directorate-General for the Middle East, North Africa and the Gulf. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://north-africa-middle-east-gulf.ec.europa.eu/what-we-do/eu-gulf-relations_en

—. (2024a). United States of America [en línea]. Directorate-General for Energy. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://energy.ec.europa.eu/topics/international-cooperation/key-partner-countries-and-regions/united-states-america_en

—. (2024b). ITER – Performance [en línea]. Directorate-General for Communication. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/programme-performance-statements/iter-performance_en

—. (2025a). Fusion energy [en línea]. Directorate-General for Research and Innovation. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/energy/fusion-energy_en

—. (2025b) Fusion energy and ITER [en línea]. Directorate-General for Energy. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/fusion-energy-and-iter_en

European Council. (2024). Cómo ha afectado a los mercados la invasión rusa de Ucrania: respuesta de la UE [en línea]. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.consilium.europa.eu/es/policies/eu-response-russia-military-aggression-against-ukraine-archive/impact-of-russia-s-invasion-of-ukraine-on-the-markets-eu-response/

European Council. (2025). Where does the EU's gas come from? [en línea]. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/where-does-the-eu-s-gas-come-from/

European Environment Agency. (2024). Trends and projections in Europe 2024 [en línea]. EEA REPORT 11/2024. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/trends-and-projections-in-europe-2024

Eurostat. (2024). Shedding light on energy in the EU [en línea]. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://data.europa.eu/doi/10.2785/88627.

Foster, S. y Elzinga, D. (2015). El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible [en línea]. United Nations. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.un-.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible

Fusion for Energy. (2018). The EU Council mandates the Commission to formally approve the new ITER baseline at the next ITER Council [en línea]. The European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://fusionforenergy.europa.eu/news/the-eu-council-mandates-the-commission-to-formally-approve-the-new-iter-baseline-at-the-next-iter-council/

Hughes, K. (2022). Wilson Center expert analysis of the Inflation Reduction Act [en línea]. Wilson Center. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://5g.wilsoncenter.org/article/wilson-center-expert-analysis-inflation-reduction-act

Gondemberg, J. (2009). Nuclear energy in developing countries [en línea]. Daedalus. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.amacad.org/publication/daedalus/nuclear-energy-developing-countries

Huld, A. (2023). La economía china en 2023: Un año de crecimiento y recuperación [en línea]. China Briefing News. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.china-briefing.com/news/la-economia-china-en-2023-un-ano-de-crecimiento-y-recuperacion/

IAEA (2022). Demonstration Fusion Plants [en línea]. International Atomic Energy Agency. Vol. 62-2. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iaea.org/bulletin/demonstration-fusion-plants

Ibekwe, E. et al. (2024). Energy security in the global context: A comprehensive review of geopolitical dynamics and policies [en línea]. Engineering Science & Technology Journal. 5(1), pp. 152-168. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/386014476_ENERGY_SECURITY_IN_THE_GLOBAL_CONTEXT_A_COMPREHENSIVE_REVIEW_OF_GEOPOLITICAL_DYNAMICS_AND_POLICIES

IEA (2022). China - Countries & Regions [en línea]. International Energy Agency. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iea.org/countries/china

—. (2023a). Middle East – Countries & Regions [en línea]. International Energy Agency. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iea.org/regions/middle-east

—. (2023b). World Energy Outlook 2023 – Analysis [en línea]. International Energy Agency. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023

—. (2023c). Nuclear power [en línea]. International Energy Agency. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iea.org/energy-system/electricity/nuclear-power

—. (2024). Japan - Countries & Regions [en línea]. International Energy Agency. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iea.org/countries/japan

ITER. (2024). ITER Members [en línea]. ITER - the way to new energy. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iter.org/about/iter-members

Jack, V. (2022). Nuclear fusion: The one relationship Russia and the West just can't break. Politico. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.politico.eu/article/the-one-relationship-russia-and-eu-just-cant-break-iter-fusion-ukraine-war/

JT-60SA. (2024). JT-60SA certified as world's largest tokamak [en línea]. JT-60SA Advanced Superconductive Tokamak. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.jt60sa.org/wp/jt-60sa-certified-as-worlds-largest-tokamak/

Korea Institute of Fusion Energy. (2020). KSTAR & ITER [en línea]. KFE: Korea Institute Of Fusion Energy. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.kfe.re.kr/menu.es?mid=a20201050000

Krishnamurthy, R. V. (1998). Hydrogen isotopes [en línea]. En: Geochemistry. Encyclopedia of Earth Science. Dordrecht, Springer, pp. 326-330. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/1-4020-4496-8_160

Mann, A. y Wiper, A. P. (2022). See the facility that tests whether nuclear weapons work [en línea]. Scientific American. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.scientificamerican.com/article/see-the-facility-that-tests-whether-nuclear-weapons-work/

Massachusetts Institute of Technology. (2022). MIT expands research collaboration with Commonwealth Fusion Systems to build net energy fusion machine [en línea]. MIT News. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://news.mit.edu/2022/mit-expands-research-collaboration-commonwealth-fusion-systems-sparc-0510

Matthews, D. (2024). Fusion is needed for European autonomy, says new industry body [en línea]. Science|Business. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://sciencebusiness.net/news/nuclear-fusion/fusion-needed-european-autonomy-says-new-industry-body

Miller, S. (2023). Fusing particles and interests: The geopolitics of nuclear fusion [en línea]. Georgetown Security Studies Review. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://gssr.georgetown.edu/the-forum/topics/technology/fusing-particles-and-interests-the-geopolitics-of-nuclear-fusion/

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). La Unión Europea en la lucha contra el cambio climático [en línea]. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/la-union-europea.html.

Nakićenović, N. y Swart, R. (eds.). (2000). Emissions Scenarios [en línea]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions_scenarios-1.pdf

Öğütçü, C. y Öğütçü, M. (2017). China's expanding energy and geopolitical linkages with central Asia and Russia: Implications for businesses and governments [en línea]. Policy Center. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.policycenter.ma/publications/china%E2%80%99s-expand-

ing-energy-and-geopolitical-linkages-central-asia-and-russia-implications

Parisi, J. y Ball, J. (2019). The future of fusion energy. World Scientific Ltd. ISBN: 978-1786345424.

Pearson, R. J., Antoniazzi, A. B. y Nuttall, W. J. (2018). Tritium supply and use: A key issue for the development of nuclear fusion energy [en línea]. Fusion Engineering and Design. Vol. 136, pp. 1140-1148. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.04.090

Pedersen, T. S. et al. (2016). Confirmation of the topology of the Wendelstein 7-X magnetic field to better than 1:100,000 [en línea]. Nature Communications. 7(1), p. 13493. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://doi.org/10.1038/ncomms13493

Picot, W. (2021). ITER: el experimento de fusión más grande del mundo [en línea]. IAEA Bulletin. Vol. 62-2. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.iaea.org/es/energia-de-fusion/iter-el-experimento-de-fusion-mas-grande-del-mundo

Pozzi, G. (2025). China's energy law 2025: Highlights for renewables, energy security, and private companies [en línea]. FiscalNote. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://fiscalnote.com/blog/chinas-energy-law-2025

Qihan Zou, C. (2024). China and the race for nuclear fusion [en línea]. The Diplomat. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://thediplomat.com/2024/06/china-and-the-race-for-nuclear-fusion/

Rademaekers, K. et al. (2018). Study on the impact of the ITER activities in the EU [en línea]. Trinomics. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://trinomics.eu/project/iter-impacts/

Regal, C. (2024). The growing role of AI in nuclear energy investing [en línea]. VanEck. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.vaneck.com/us/en/blogs/natural-resources/ai-and-nuclear-power/

Ritchie, H. (2024). What's the impact of artificial intelligence on energy demand? [en línea]. By the numbers. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.sustainabilitybynumbers.com/p/ai-energy-demand

Roveda, M. (2025). Entrevista personal.

Sala, A. (2022). ¿Quién gana y quién pierde con la fusión nuclear? Así afectará al sector energético [en línea]. El Periódico. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.elperiodico.com/

es/economia/20221214/gana-pierde-fusion-nuclear-afectara-79913030

Sánchez, J. (2025). Entrevista personal.

Setzer, J., Peterson, L. y Marner, D. (2024). Navigating net zero via the law [en línea]. Grantham Research Institute on climate change and the environment. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/news/navigating-net-zero-via-the-law/

Rubel, M. (2018). Fusion Neutrons: Tritium breeding and impact on wall materials and components of diagnostic systems. Journal of Fusion Energy. Vol. 38, pp. 315-329.

Sanfilippo, A., Vermeersch, M. y Benito, V. B. (2024). Energy transition strategies in the Gulf Cooperation Council countries [en línea]. Energy Strategy Reviews. Vol. 55. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101512

Smirnov, V. P. (2009). Tokamak foundation in USSR/Russia 1950–1990 [en línea]. Nuclear Fusion. 50(1). [Consulta: 2026]. Disponible en: https://doi.org/10.1088/0029-5515/50/1/014003

The White House. (2023). International partnerships in a new era of fusion energy development [en línea]. The White House. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://bidenwhitehouse.archives.gov/ostp/news-updates/2023/12/02/international-partnerships-in-a-new-era-of-fusion-energy-development/

—. (2025). Putting America first in international environmental agreements [en línea]. Presidential actions. The White House. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/01/putting-america-first-in-international-environmental-agreements/

Timmermann, C. y Noboa, E. (2022). Energy sovereignty: A values-based conceptual analysis [en línea]. Science and engineering ethics. 28(6). [Consulta: 2026]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s11948-022-00409-x

U.S. Department of Energy. (2023). Inflation Reduction Act of 2022 [en línea]. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.energy.gov/lpo/inflation-reduction-act-2022

Waldrop, M. M. (2024). Los retos de la energía de fusión nuclear [en línea]. Knowable Magazine. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://doi.org/10.1146/knowable-012524-1

Zhang, C. (2024). Split of fusion regulation from fission codified by new law [en línea]. American Institute of Physics. [Consul-

ta: 2026]. Disponible en: https://ww2.aip.org/fyi/split-of-fusion-regulation-from-fission-codified-by-new-law

Zhongying, W. y Sandholt, K. (2025). Guest post: China will need 10,000GW of wind and solar by 2060 [en línea]. Carbon Brief. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://www.carbonbrief.org/guest-post-china-will-need-10000gw-of-wind-and-solar-by-2060/

Zhou, Y., Sadler, J. D. y Hurricane, O. A. (2025). Instabilities and mixing in inertial confinement fusion [en línea]. Annual Review of Fluid Mechanics. Vol. 57, pp. 197-225. [Consulta: 2026]. Disponible en: https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-022824-110008