Capítulo cuarto

Redes energéticas, geopolítica y transición sostenible

Jorge Fernández Gómez
Jaime Menéndez Sánchez

Resumen

Este capítulo analiza el papel de las redes energéticas en el contexto geopolítico actual y, en particular, en el marco de la transición sostenible hacia una economía con cero emisiones netas de gases de efecto invernadero y baja huella medioambiental.

Las redes energéticas de un país (y las infraestructuras en general) son activos esenciales para alcanzar objetivos clave de las sociedades modernas como garantizar la competitividad de la economía y el bienestar de la sociedad, avanzar en la descarbonización y reforzar su seguridad. Disponer de redes energéticas robustas, malladas, integradas y que incluyan las tecnologías digitales más avanzadas favorece la creación de ventajas competitivas para las empresas y para la economía, y una mejor posición geopolítica. Por tanto, son elementos centrales y críticos de las estrategias globales de los países y regiones.

Actualmente, las redes energéticas afrontan su mayor transformación desde la Segunda Guerra Mundial, en un contexto complejo con profundas transiciones en marcha (transición energético-medioambiental, nuevas tecnologías limpias, digitalización,

redefinición de la globalización, reconfiguración de la geopolítica de la energía, etc.) y retos globales de primera magnitud (amenaza climática, conflictos bélicos en marcha o potenciales, polarización ideológica, corrientes de desglobalización y proteccionismo, «carrera verde» entre regiones, etc.).

La transformación de las redes energéticas en redes inteligentes, digitalizadas, interconectadas y que integren todos los recursos energéticos y fuentes de flexibilidad plantea importantes oportunidades en términos geoestratégicos además de contribuir a resolver el llamado «trilema energético». Sin embargo, capitalizar estas oportunidades implicará, necesariamente, resolver algunos desafíos geoestratégicos como los riesgos cibernéticos asociados a la mayor digitalización del sistema energético, la creciente dependencia de la UE (y otras regiones del mundo) de la importación de materias primas y minerales críticos para la transición energética, que está dando lugar a una reconfiguración de las reglas y de las relaciones de la geopolítica de la energía, la tensión entre avanzar en el desarrollo de grandes *hubs* energéticos interconectados de carácter regional o continental, y la necesidad de mantener niveles elevados de seguridad del suministro energético.

Palabras clave

Redes energéticas, Geopolítica, Sistemas energéticos, Trilema energético, Seguridad de suministro.

Energy networks, geopolitics, and sustainable transition

Abstract

This chapter analyses the role of energy networks in the current geopolitical context and, in particular, in the framework of the sustainable transition towards an economy with zero net greenhouse gas emissions and a low environmental footprint.

A country's energy networks (and infrastructures in general) are essential assets for achieving key objectives of modern societies, such as ensuring the competitiveness of the economy and the well-being of society, advancing decarbonization and reinforcing their security. Having robust, meshed, and integrated energy networks that include the most advanced digital technologies favours the creation of competitive advantages for companies and for the economy, and a better geopolitical position. Therefore, they are central and critical elements of the global strategies of countries and regions.

Energy networks are currently facing their biggest transformation since World War II, in a complex context with profound transitions underway (energy-environmental transition, new clean technologies, digitalization, redefinition of globalization, reconfiguration of energy geopolitics, etc.) and major global challenges (climate threat, ongoing or potential military conflicts, ideological polarization, de-globalization and protectionism, «green race» between regions, etc.).

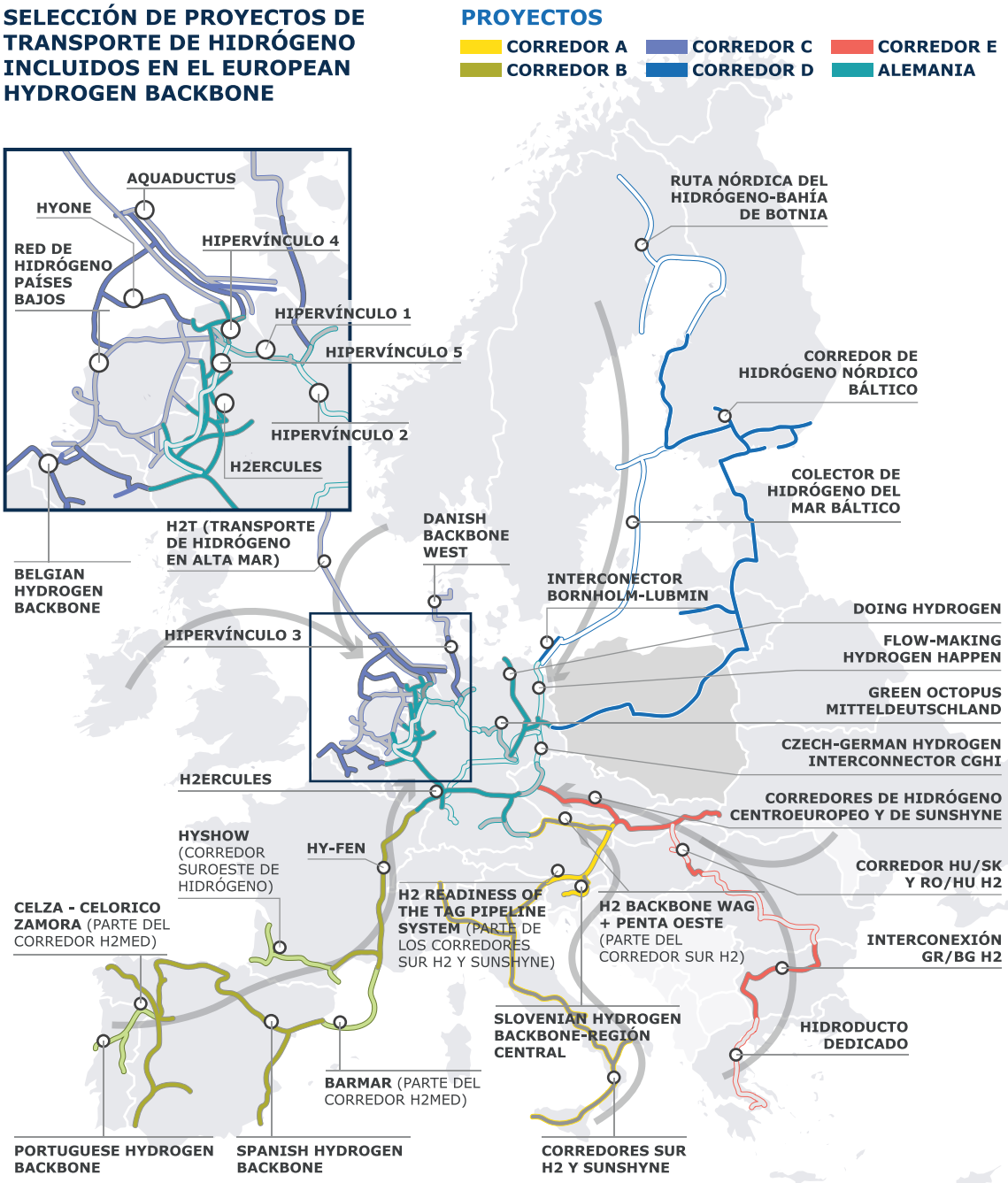
The transformation of energy networks into smart, digitalized, interconnected grids that integrate all energy resources and sources of flexibility offers significant geostrategic opportunities, as well as helps to solving the so-called «energy trilemma». However, capitalizing on these opportunities will necessarily involve solving some geostrategic challenges, such as the cyber risks associated with the increased digitalization of the energy system, the growing dependence of the EU (and other regions of the world) on imports of raw materials and minerals critical for the energy transition, which is leading to a reconfiguration of global energy geopolitics, the tension between advancing in the development of large regional or continental interconnected energy hubs and the need to maintain high levels of energy supply security.

Key words

Energy Networks, Geopolitics, Energy Systems, Energy Trilemma, Energy Security of Supply.

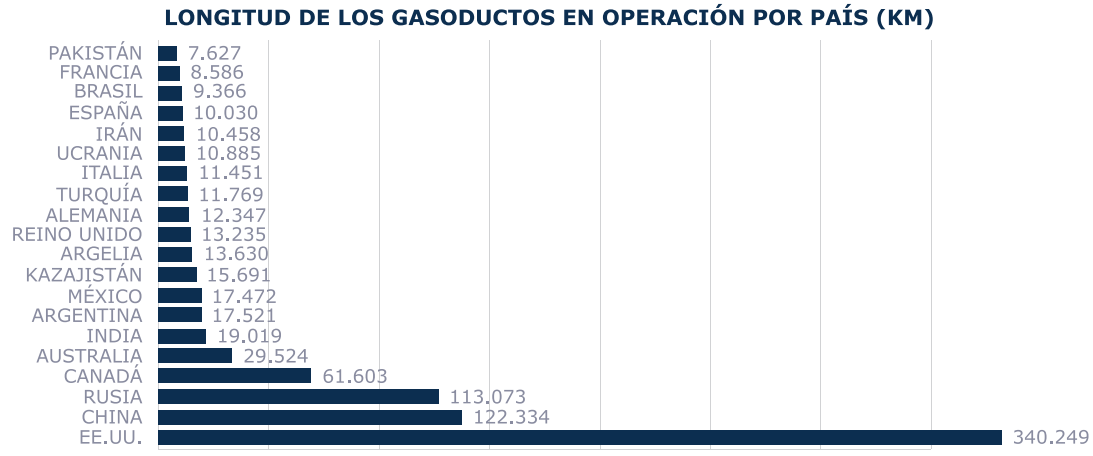
RED DE TRANSPORTE DE HIDRÓGENO PREVISTA EN LA INICIATIVA EUROPEAN HYDROGEN BACKBONE

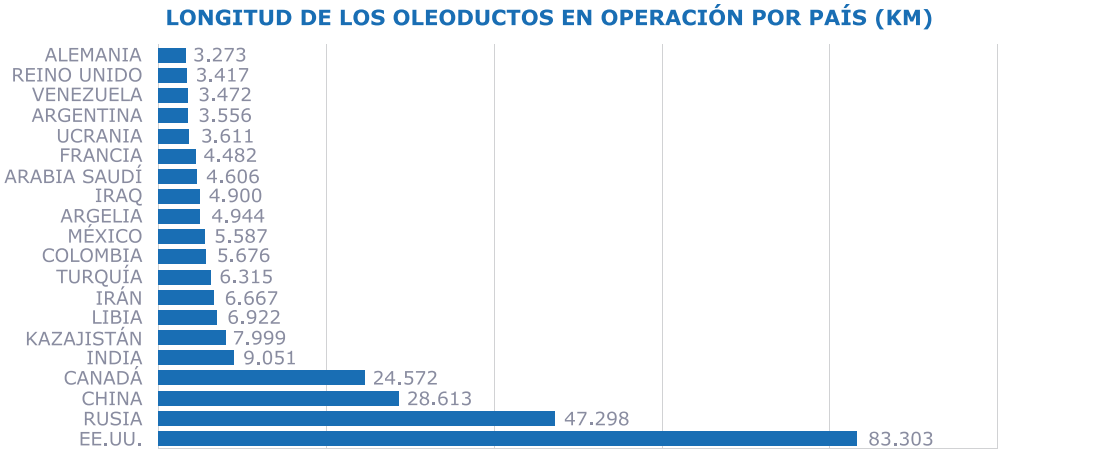
SELECCIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE DE HIDRÓGENO INCLUIDOS EN EL EUROPEAN HYDROGEN BACKBONE

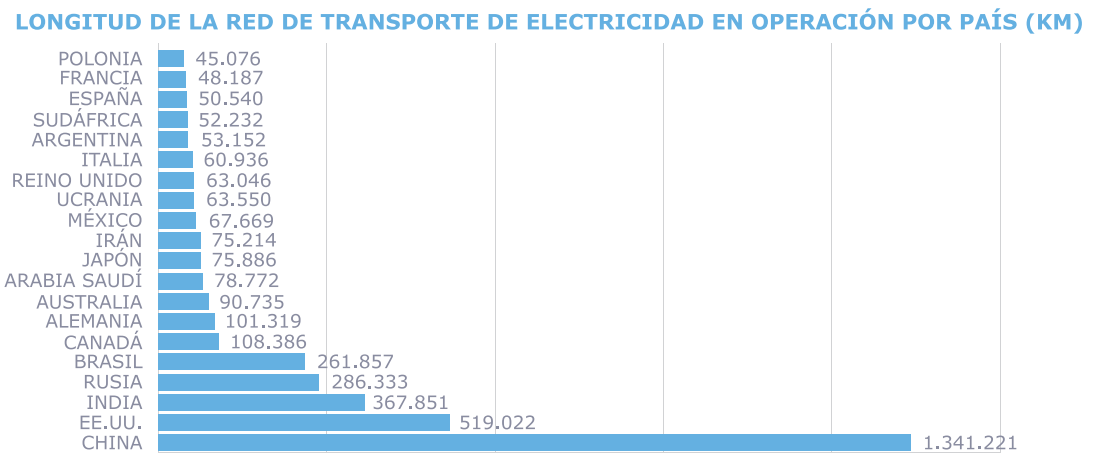


Fuente: EHB-European Hydrogen Backbone. Noviembre 2023.

LONGITUD DE LAS REDES DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL, PETRÓLEO Y ELECTRICIDAD EN DISTINTOS PAÍSES







Fuente Gráfico 1: Global Energy Monitor. Global Gas Infrastructure Tracker (GGIT). Gas Pipelines data, Diciembre 2023.
Fuente Gráfico 2: Global Energy Monitor. Global Oil Infrastructure Tracker (GOIT). Oil Pipelines data, Mayo 2023.
Fuente Gráfico 3: Kalt, Thunshirn y Haberl, 2021.

1. Introducción

Las redes energéticas son activos críticos para alcanzar objetivos clave de las sociedades modernas, lo que incluye garantizar la competitividad de las economías y el bienestar de la sociedad, avanzar de manera decisiva en la transición energético-climático-medioambiental y reforzar la seguridad y —en un sentido más amplio— el poder de los territorios y países.

Para un Estado o región, disponer de redes energéticas robustas, malladas, integradas y que integren las tecnologías más avanzadas implica ventajas competitivas para sus empresas y su economía, y una mejor posición geopolítica. Además, son especialmente relevantes para determinar las estrategias globales de los países y de las regiones por su estrecha relación con las distintas dimensiones de la geopolítica (geográfica, política, económica, militar, tecnológica e incluso cultural). Las redes energéticas, por ejemplo, facilitan la conectividad económica y geográfica entre países, lo que las convierte en factores que tienen una incidencia indirecta, aunque crítica, sobre la competitividad de muchos sectores industriales y de todas las empresas y los territorios en general al influir en los costes energéticos y en la ubicación del tejido productivo.

En el contexto de la transición hacia una economía con cero emisiones netas y medioambientalmente sostenible, las redes energéticas se convierten en plataformas imprescindibles para la descarbonización de la economía y el despliegue de tecnologías limpias debido a que tienen un rol protagonista en el ámbito del desarrollo tecnoindustrial y de la innovación (dos inductores directos de competitividad económica empresarial). Además, la necesidad de proteger estos activos cada vez más críticos en un complejo contexto global caracterizado por la incertidumbre y por nuevos riesgos (bélicos y cibernéticos, por ejemplo) tiene claras implicaciones militares.

Este papel de liderazgo de las redes energéticas se acentúa en el complejo contexto global actual, en el que interactúan los efectos de las tendencias de globalización y desglobalización parcial y de profundas transiciones en marcha íntimamente interrelacionadas entre sí: lucha contra el cambio climático, crisis energética y económica, guerra tecnológica, comercial e industrial entre regiones del planeta, nuevos conflictos bélicos y territoriales (en Ucrania y Oriente Medio) que generan gran incertidumbre por sus potencia-

les consecuencias en el ámbito global, profundos cambios geopolíticos (nuevo papel central de China, materias primas críticas y tierras raras, riesgos sobre las cadenas de suministro globales, etc.).

En el ámbito energético, en la última década y media se ha observado una clara tendencia a la integración energética dentro del proceso de globalización, como es el caso de la Unión Europea (UE), al desarrollo de nuevos mercados globales de energía (especialmente los mercados de gas natural regionales y el mercado global de gas natural licuado, GNL[1]), a la expansión y mejora de las interconexiones interregionales, etc.

Estos procesos han tenido lugar gracias al desarrollo de sistemas de redes energéticas con mayor cobertura geográfica, a mejores interconexiones entre sistemas energéticos, a un mallado más profundo y a la creciente integración entre distintos tipos de energía y vectores energéticos (electricidad, gas natural, calor, hidrógeno).

Todo ello ha redundado en una mayor eficiencia en el suministro de energía y un mejor acceso a distintas fuentes de energía, especialmente en el norte global, y en el ámbito de la electricidad, el gas natural y el GNL. En el caso de la electricidad, la mayor integración y la interconexión a gran escala de sistemas eléctricos —en parte impulsadas por avances tecnológicos como el desarrollo de redes de transporte de muy alta tensión, superior a 800 kV— permite resolver de manera más eficiente los desequilibrios regionales entre oferta y demanda, y ofrecer una flexibilidad que limita, por ejemplo, las inversiones en capacidad de generación necesarias para gestionar las puntas de demanda (IEA, 2016). Además, facilita el despliegue de energías renovables eléctricas y el acceso a fuentes de energía remotas.

Sin embargo, en los últimos tres años esta tendencia a la mayor integración de los sistemas energéticos en todo el mundo se ha visto frenada. Esto tiene que ver con la utilización de la energía como arma estratégica (Rusia utilizó la energía como arma en 2021 y 2022, lo que dio lugar a una grave crisis energética en la UE) y con la aproximación estratégica a la transición energética y a la descarbonización de la economía (desarrollo y liderazgo tecnológico, materias primas críticas).

[1] Ver Campos y Fernandes (2017).

Como consecuencia de todo ello, el «trilema energético» (Henderson & Meidan, 2023; Aranzadi, 2023) vuelve a estar de plena actualidad y se produce un nuevo equilibrio entre sus distintos pilares (económico/asequibilidad de la energía, medioambiental y seguridad energética) en el que la seguridad y la independencia energética tienen un peso muy importante.

La reconfiguración del trilema energético implica un mayor protagonismo de las administraciones públicas para asegurar el cumplimiento de los objetivos medioambientales y en materia de seguridad de suministro. Factores relacionados con los bienes públicos y las externalidades negativas y con la necesidad de innovar desarrollando tecnologías aún no maduras ofrecen una justificación para esta mayor involucración de los poderes públicos. Además, desde el punto de vista estratégico la resolución eficiente del trilema implica alcanzar un (difícil) equilibrio entre las políticas energéticas, medioambientales y tecnoindustriales en un contexto global muy complejo.

En el caso de las redes energéticas existen factores adicionales que dan lugar a una mayor responsabilidad por parte de los legisladores, reguladores y Gobiernos en los distintos niveles de administración. Por un lado, las redes energéticas tienen, en general, características de monopolio natural —muestran subaditividad de costes (Science Direct, s. f.)—, por lo que el desarrollo eficiente de las mismas no tendrá lugar en condiciones de competencia y libre mercado. Por otro lado, las autoridades regulatorias se enfrentan al dilema de avanzar con más rapidez en la transición energética impulsando las energías renovables más maduras y creando un problema de activos varados[2] en los sectores ligados a combustibles fósiles convencionales, o de adoptar cambios más graduales y asumir el riesgo de *lock-in* tecnológico (Aranzadi, 2023). Además, existe el problema —conocido y claramente identificable en la UE— de la coordinación en la planificación y el desarrollo de las redes energéticas entre distintos países.

Por otro lado, a escala regional y global, las políticas de recuperación y de desarrollo económico y competitividad tras la pandemia no pueden entenderse sin mencionar la necesidad de acelerar la penetración de las energías limpias en las matrices energéticas

[2] Los activos varados (*stranded assets*) son aquellos que dejan de ser económicamente viables por falta de uso e imposibilidad de adaptación tecnológica u operativa debido a cambios fundamentales en la regulación, la tecnología o los mercados (LSE, 2022).

en todo el planeta y de avanzar de manera decisiva en los procesos de descarbonización.

En definitiva, las redes energéticas juegan un papel esencial para afrontar el «trilema energético» —ver IEA (2023a)— y dar respuesta a un conjunto de retos geopolíticos (algunos de nuevo cuño) que afectan a las tres patas del trilema (energía asequible, energía segura y energía limpia).

El objetivo de este capítulo es analizar, teniendo en cuenta las implicaciones medioambientales, económicas y relativas a la seguridad del suministro energético, el papel de las redes energéticas en el contexto geopolítico actual, en particular en el marco de la transición sostenible hacia una economía con cero emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) y baja huella medioambiental.

En la sección 2 se analiza la contribución de las redes energéticas y su papel protagonista y vertebrador en la transición energético-climática. Para ello, revisamos las principales tendencias de transformación en las redes energéticas a escala global y su impacto sobre la reconfiguración de los sistemas energéticos. Entre estas tendencias destacan la digitalización de las redes, la electrificación de consumos finales de energía, el desarrollo del hidrógeno y de otros combustibles renovables, la descentralización del sistema energético, la integración (geográfica y energética) de los sistemas energéticos y la interconexión de sistemas energéticos a gran escala.

La sección 3 analiza el papel central de las redes energéticas en la solución al trilema energético y en cómo se pueden afrontar algunos retos geopolíticos que afectan a las distintas dimensiones del suministro energético. Para ello revisamos cómo se está reconfigurando la geopolítica de la energía y cómo afecta esta transformación a las redes energéticas. Posteriormente, teniendo en cuenta las implicaciones geopolíticas, también revisamos la contribución de las redes a cada uno de los pilares del trilema: los objetivos medioambientales, económicos (y de fomento de la competitividad de las economías) y de seguridad del suministro energético.

La sección 4 analiza los principales retos y riesgos a los que se enfrenta el desarrollo y la adaptación de las redes energéticas, muchos de ellos con claras implicaciones geopolíticas (los asociados al cambio de la matriz energética y la penetración de energías renovables o los asociados al terrorismo y

los ciberataques). Además, analizamos cuál es la manera de avanzar en el desarrollo de las nuevas redes energéticas en la UE. En la parte final de esta sección se revisan de manera breve la situación y las perspectivas de las redes energéticas en España y los principales retos y oportunidades de carácter geoestratégico.

La sección 5 presenta las conclusiones del análisis.

2. Las redes energéticas como eje vertebrador de la transición sostenible

2.1. Contexto general de las redes del sistema energético

2.1.1. Redes energéticas vs. sistemas energéticos

En su conjunto, el sistema energético está compuesto por múltiples activos e infraestructuras de exploración, extracción, producción, tratamiento o conversión, almacenamiento, transporte de larga distancia, distribución y consumo de energía. Las redes energéticas permiten vertebrar el sistema energético y conectar los puntos de producción y consumo de energía (y, en general, todos los elementos mencionados) entre sí y, por tanto, tienen una importancia vital para la sociedad y la economía de cualquier país.

En adelante, el uso del término «red energética» se refiere al conjunto de infraestructuras de transporte y distribución de electricidad (cables) e hidrocarburos (gasoductos, principalmente). Como se verá a lo largo de este capítulo, las redes de electricidad y gas natural permiten integrar a gran escala recursos energéticos renovables como la energía eólica, la energía fotovoltaica o distintos tipos de gases renovables en los sistemas energéticos. Además, están sujetas a cambios de gran calado ligados a la digitalización y a otros avances tecnológicos asociados al desarrollo de energías limpias. Por estas razones, el análisis en este capítulo se centra especialmente en las redes de electricidad y gas natural.

Por otro lado, aunque las redes energéticas alcanzan dimensiones internacionales conectando países y continentes entre sí, es importante tener en cuenta que el desplazamiento paralelo de combustibles también tiene lugar a través de otros medios, como buques petroleros o metaneros, que permiten el envío de combustibles a grandes distancias y su introducción en los sistemas

energéticos de los países consumidores por carretera, ferrocarril o mediante las propias redes energéticas.

Este hecho implica que los puertos y otras infraestructuras asociadas, como las terminales de licuefacción de gas natural (en origen) o de regasificación (en destino) y los elementos de almacenamiento de hidrocarburos (tanques o yacimientos subterráneos), así como carreteras y vías de ferrocarril, constituyen también redes energéticas, de diferente índole, pero también relevantes.

El análisis realizado en este capítulo pone el foco en las redes de electricidad y de gas natural, si bien esto no implica obviar la importancia del resto de infraestructuras en cualquier análisis geoestratégico de los sistemas energéticos.

De hecho, los riesgos geopolíticos de las rutas de transporte marítimas o terrestres muestran la utilidad de contar con redes energéticas malladas y diversificadas, en concreto en relación con el suministro de hidrocarburos. Los ataques sobre el puente de Kerch, en Crimea, en octubre de 2022 y julio de 2023, en el contexto de la guerra entre Rusia y Ucrania, han puesto de manifiesto cómo la interrupción del transporte de mercancías daba lugar a restricciones de combustible en la península, pero también tuvo implicaciones militares para las tropas rusas desplegadas en las otras regiones de Ucrania ocupadas (Kuznetsov, 2022; AP, 2023).

2.1.2. Evolución histórica de las redes energéticas y situación actual

La evolución de las redes energéticas (y de sus implicaciones geoestratégicas) ha estado históricamente asociada a los cambios en las tecnologías de producción y consumo de la energía y a sus diferentes «transiciones» (Smil, 2016, 2020; World Economic Forum, 2022).

Mientras que desde la Revolución Industrial el suministro de carbón y otros combustibles se realizaba mediante logística terrestre y marítima, el auge de otras formas de energía a lo largo del siglo XX (petróleo y derivados, gas natural y electricidad) fue dando lugar al desarrollo de redes energéticas a gran escala (a partir de un conjunto incipiente de infraestructuras ya operativas a finales del siglo XIX) con el objetivo de lograr vías estables de suministro continuado y eficiente y de unir las áreas de producción con centros de consumo situados a grandes distancias.

Los acontecimientos geopolíticos propiciaron el desarrollo de las primeras redes energéticas de grandes dimensiones en Estados Unidos (Liu, 2023). Así ocurrió en el caso de los oleoductos Big Inch y Little Big Inch que unían la zona de producción petrolífera en Texas con los estados del nordeste y que fueron construidos como una forma de evitar la exposición del transporte de crudo por mar a los ataques de submarinos alemanes en la costa del Golfo de México durante la Segunda Guerra Mundial. Lograr una alternativa para el transporte de crudo de los yacimientos a las refinerías se convirtió en una cuestión cuya importancia iba más allá del suministro industrial y que tenía implicaciones militares críticas (Martin, 2018).

Otro ejemplo es el oleoducto Trans-Alaska, cuyo propósito era transportar el crudo desde el yacimiento de Prudhoe Bay, al norte de Alaska, hasta Valdez, al sur de este territorio y con un puerto libre de hielo donde poder cargarlo en petroleros. Su construcción dio lugar a un gran debate nacional en Estados Unidos sobre la conveniencia de la infraestructura hasta que el estallido la crisis del petróleo de 1973 terminó de impulsar el proyecto (Rau, 2019).

La evolución del sistema básico de gasoductos en distintas partes del mundo —estrechamente ligado a la evolución de la industria del petróleo porque los depósitos de gas a menudo se encontraban junto a yacimientos de petróleo y se explotaban de forma conjunta— también respondió a la necesidad de garantizar el acceso a un combustible barato con buen rendimiento energético y con múltiples usos en la industria y en el sector energético en el periodo que siguió a la Segunda Guerra Mundial (SGM).

La relativa estabilidad y paz tras la SGM, la progresiva integración y globalización de las economías en todo el mundo y el desarrollo del comercio internacional junto con el desarrollo de tecnologías (económicamente viables) de licuefacción de gas natural y regasificación del gas natural licuado (GNL) dieron un gran impulso a la industria global del gas natural a partir de los años 60 (Jensen, 2004). Este proceso también se vio favorecido por otros avances tecnológicos como los ciclos combinados de gas natural. El desarrollo del GNL, junto con otros desarrollos regulatorios y de mercado (liberalización de los sectores energéticos, creación de mercados organizados y OTC) permitió separar definitivamente el mercado gasista del de petróleo, generando dinámicas geopolíticas distintas influenciadas por nuevos productores de gas natural en distintas partes del mundo (Trinidad y Tobago, Sudamérica,

Nigeria, África occidental, Catar, Indonesia, Malasia, Australia). La figura 1 recoge la red actual de gasoductos y oleoductos de gran capacidad (con más de 100 km de longitud o capacidad superior a 6000 barriles al día).

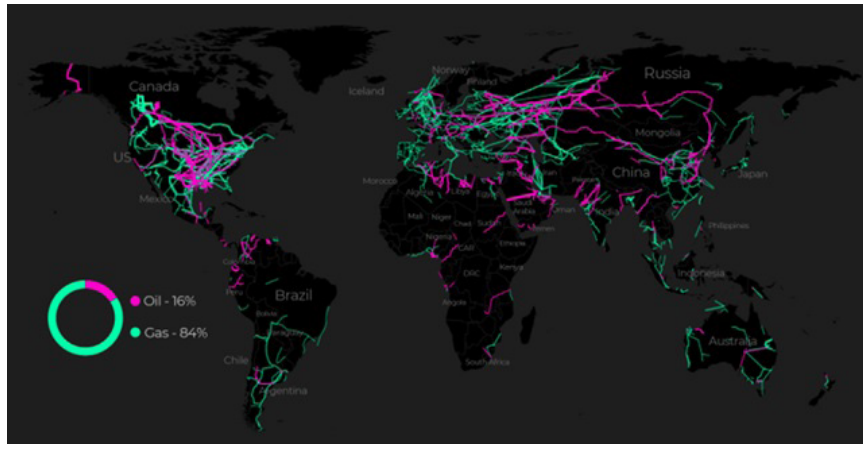


Figura 1. Red principal de gasoductos y oleoductos a nivel mundial. Fuente: Al Jazeera en Hussein (2021) a partir de datos de World Energy Monitor

El caso de la electricidad es un poco diferente al de las industrias del petróleo y del gas natural. El crecimiento del consumo eléctrico y de la industria eléctrica en general fue gradual y constante desde inicios del siglo xx. La electricidad era la principal forma de energía para la iluminación y para múltiples usos finales asociados a la sociedad de consumo, también en los sectores industriales. La evolución de las redes eléctricas durante el siglo xx estuvo muy influenciada por la ubicación de las grandes centrales de generación de energía eléctrica (nucleares, de carbón, de derivados del petróleo, etc.). La aparición de los ciclos combinados de gas natural, capaces de generar grandes cantidades de energía en instalaciones relativamente pequeñas y, muy especialmente, la irrupción de energías como la eólica o la fotovoltaica a finales de siglo cambió de forma fundamental la aproximación al desarrollo de las redes eléctricas.

En resumen, hasta hace relativamente poco, las redes energéticas estaban caracterizadas por una concepción muy vertical, *top-down*, con una direccionalidad muy marcada desde la producción al consumo y con diferencias importantes entre las redes de transporte (de alta tensión o presión) y las redes de distribución (de media y baja tensión o presión). La organización tradicional

del sistema energético se basaba en la centralización y en redes (a menudo, de gran escala) orientadas a unir los focos de producción o de entrada en el sistema de la energía (grandes centrales energéticas, yacimientos de gas o infraestructuras de GNL) con los centros de consumo. La integración entre estos sistemas era limitada y las distintas redes energéticas coexistían en paralelo.

Los riesgos geopolíticos se centraban en la probabilidad de choques de oferta que provocaran alteraciones del suministro (o de los mercados globales de petróleo y gas natural) motivados por conflictos bélicos, políticos o sociales (guerra árabe-israelí en 1973; revolución en Irán en 1979), y en posibles ataques a infraestructuras críticas en distintas partes del mundo (Farrell *et al*., 2004).

2.2. Redes modernas para nuevas formas de energía

Hoy en día, desde que la amenaza del cambio climático se ha situado como un problema de primer orden en la esfera internacional, en especial desde la firma del Acuerdo de París en 2015, el mundo se encuentra en un proceso de transición hacia una economía global neutra en emisiones de carbono. Esta transformación de gran calado tendrá implicaciones en todos los eslabones de la cadena de valor de la energía, incluyendo las redes energéticas, y está dando lugar a un nuevo panorama geopolítico que es objeto de estudio por parte de la academia y de las organizaciones internacionales —ver Paltsev (2016), IRENA (2019) o Westphal *et al*. (2022)—, y que se analiza con más detalle en la sección 3.

2.2.1. Tendencias de transformación de las redes energéticas

La transformación de las redes energéticas está caracterizada por distintas tendencias, de las cuales señalamos seis, por sus implicaciones en el ámbito geopolítico.

La primera está relacionada con la digitalización y con la adopción de nuevas tecnologías que favorecen la automatización en la operación de las redes, el seguimiento en tiempo real de las mismas, los procesos de mantenimiento preventivo, etc. El rápido desarrollo de las redes inteligentes en muchos sistemas eléctricos es un ejemplo paradigmático de la importancia de la transformación digital (Fernández y Menéndez, 2019). La digitalización no solo incrementa la eficiencia en la operación del sistema energético y

el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, sino que también favorece la integración de recursos energéticos distribuidos y de nuevas tecnologías —como los vehículos eléctricos—, la interconexión entre sistemas, la integración entre sistemas energéticos, el desarrollo de los mercados de energía, la participación activa de la demanda en estos mercados, etc. El incremento de la «inteligencia» no solo se puede observar en los sistemas eléctricos, sino también en el sistema gasista.

La segunda tendencia ampliamente aceptada como uno de los pilares en la transformación del sistema energético global en los próximos años es la creciente electrificación de la economía, que permite el aprovechamiento directo (sin transformación intermedia) de la energía generada en fuentes renovables en una amplia diversidad de sectores y tecnologías (vehículos eléctricos en el transporte, bombas de calor en el sector residencial, arcos eléctricos en la siderurgia, etc.). La electrificación de la economía constituye la base de la reducción y de la sustitución de los combustibles fósiles por energía renovable (eólica y solar). Las redes eléctricas, que facilitan el despliegue a gran escala de instalaciones de energía eléctrica renovable, se sitúan como la infraestructura fundamental para posibilitar la descarbonización. Su relevancia en términos de sostenibilidad medioambiental, económica, social y también geoestratégica (ver sección 3) irá aumentando conforme las tecnologías de generación renovable vayan desplazando a los combustibles fósiles en la combinación energética.

La tercera tendencia en la transformación de las redes energéticas implica a los sectores considerados «difíciles de descarbonizar» como el transporte pesado y de larga distancia (incluyendo el transporte marítimo y la aviación) o a las industrias intensivas en energía. En todos ellos, las soluciones de electrificación directa se enfrentan a importantes dificultades técnicas y económicas que comprometen su competitividad y su viabilidad frente a otras alternativas. Recursos energéticos emergentes y en desarrollo, como el hidrógeno, los biocombustibles avanzados o los combustibles sintéticos están llamados a tener un papel relevante en una economía descarbonizada, en especial en aquellas áreas donde la electrificación no es viable, y requerirán infraestructuras nuevas o adaptadas.

La aplicación de infraestructuras existentes más evidente se da en el caso de los combustibles sintéticos (e-gasolina, e-diésel) y los biocombustibles (biometano), cuyas características permiten

el uso de las mismas redes energéticas (oleoductos para productos de la industria petroquímica y gasoductos) sin necesidad de construir nueva infraestructura (Yugo y Soler, 2019).

En el caso del hidrógeno, las similitudes físicas con el gas natural (a pesar de que también presenta importantes diferencias técnicas) permitirán su transporte y distribución mediante infraestructuras similares a los actuales gasoductos (hidroductos). Esto puede tener lugar mediante mezclas de hidrógeno con gas natural en las infraestructuras actuales, mediante adaptación y reconversión de gasoductos (*repurposing*) o mediante la construcción de nuevas infraestructuras dedicadas desde el inicio a estas formas de energía, con configuraciones que dependerán de factores como la red existente de gas natural, el nivel de la demanda o la ubicación de los puntos de consumo (Fernández y Menéndez, 2023).

Una de las iniciativas paradigmáticas en este sentido es la European Hydrogen Backbone, impulsada por 33 operadores europeos de transporte de gas natural, que muestra cómo la red de gas natural europea puede combinar infraestructura adaptada y de nueva construcción para facilitar el desarrollo de la industria del hidrógeno en el continente (figura 2).

La cuarta tendencia de transformación de las redes energéticas implica la descentralización del sistema energético. Esto afecta principalmente a la producción de energía eléctrica, que puede llevarse a cabo a pequeña o mediana escala mediante generación distribuida (paneles solares en cubiertas de edificios, etc.). Esto requiere, al igual que en el caso de la generación renovable intermitente, una integración adecuada en la red eléctrica.

La descentralización acrecienta la importancia de la gestión eficiente de la red, en especial de la red de distribución en media y baja tensión. A su vez, esto conlleva que los consumidores se involucren como actores activos en el sistema y en los mercados energéticos con capacidad de producir energía («prosumidores») y de facilitar la gestión de la demanda como parte de una adecuada gestión de la red. Esto se hace a través de sus dispositivos de consumo y de los otros elementos, como las baterías y los vehículos eléctricos, que, junto con la generación distribuida, conforman los recursos energéticos distribuidos que la red eléctrica debe integrar a lo largo de toda su extensión. Si bien la descentralización es una tendencia que afecta particularmente a la red eléctrica, también puede relacionarse con el desarrollo de

redes de transporte y de distribución de hidrógeno (Fernández y Menéndez, 2023). Asimismo, las redes de gas natural se verán afectadas por un proceso de cierta descentralización si avanza del despliegue del biogás y el biometano producido en pequeñas instalaciones del sector primario. Sin embargo, la descentralización resulta menos plausible en el caso de los combustibles renovables, en particular de los líquidos, por la necesidad de producirlos a gran escala y de concentrar el suministro de materias primas (como CO_2 o grasas vegetales y animales).

La quinta gran tendencia de transformación de las redes energéticas es la integración del sistema energético, que consiste en el proceso de coordinar la operación y la planificación de los diferentes ámbitos del sector energético a diferentes escalas geográficas vinculando diferentes vectores energéticos y fuentes de energía y sus infraestructuras correspondientes (electricidad, calor, frío, gas, combustibles sólidos y líquidos, residuos, etc.) entre sí y con los sectores consumidores (industria, transporte, residencial, etc.). La integración de los sectores energéticos favorece la eficiencia en el uso de los recursos y la circularidad de los residuos (como el calor residual o los residuos sólidos urbanos o de otro tipo con alto poder calorífico) (O'Malley *et al*., 2016; European Commission, 2020a).

La última gran tendencia que destacamos es la interconexión de sistemas energéticos vecinos y su consiguiente integración en entes superiores. La transición global hacia sistemas energéticos basados en energías renovables está impulsando los procesos de «regionalización» de la energía (Guler *et al*., 2018). De este modo se crean «*hubs* regionales de energía» que ponen en valor alianzas políticas y económicas para desarrollar interconexiones entre sistemas energéticos nacionales, lo que da lugar al aumento de flujos de energía transfronterizos y facilita la integración económica y energética entre los países que conforman esos *hubs*. Esto incrementa la interdependencia entre países y regiones, generando efectos positivos sobre la estabilidad geopolítica (al menos, dentro de los bloques regionales).

La UE y su impulso del mercado interior de la energía ofrecen un ejemplo de la creación de un gran *hub* energético regional[3], aunque su origen no está directamente relacionado con el despliegue de energías renovables o la electrificación y sí con otros

[3] En la sección 3 se comenta la estrategia de China de desarrollar grandes redes energéticas de alcance regional e, incluso, continental.

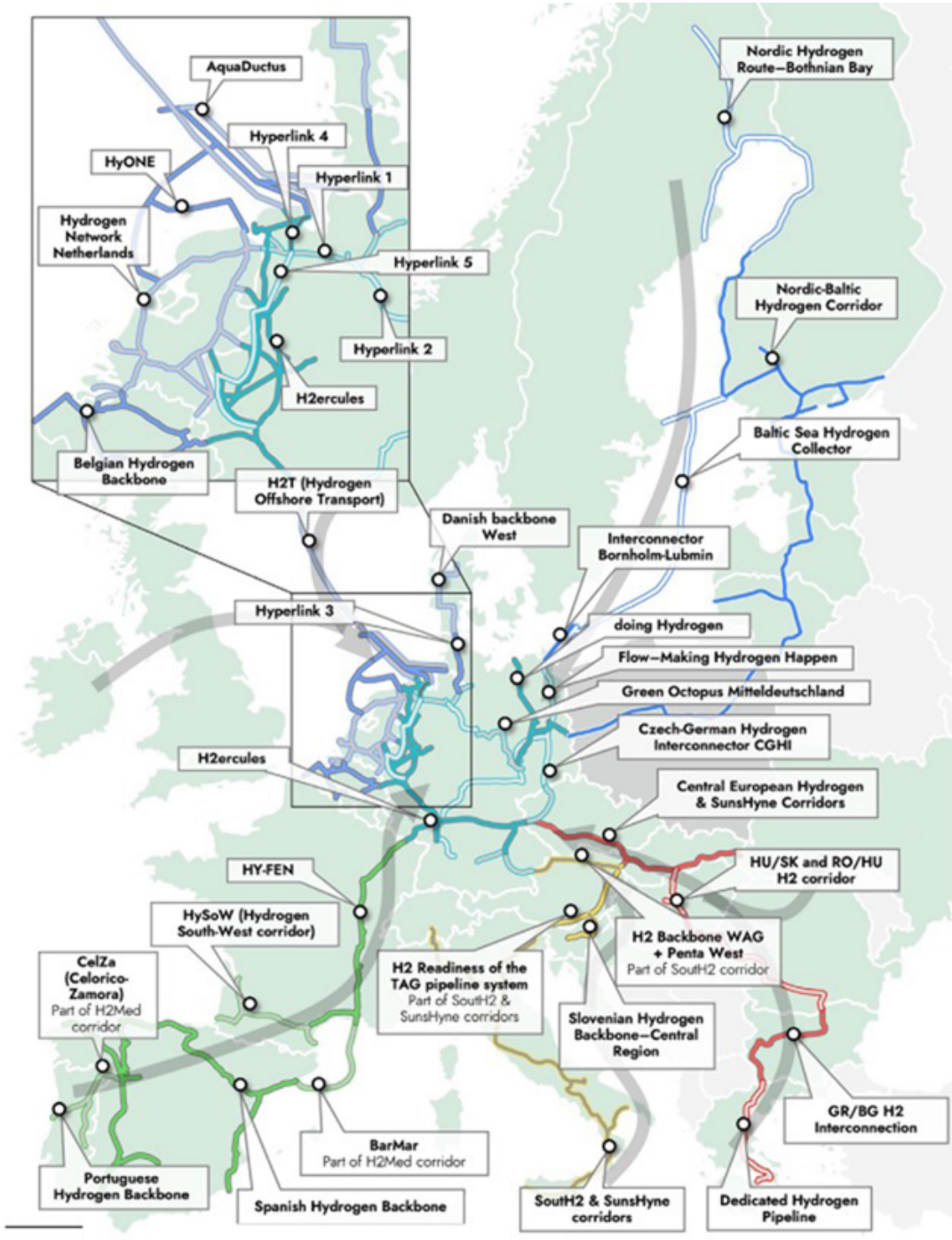


Figura 2. European Hydrogen Backbone. Fuente: European Hydrogen Backbone (2023)

objetivos de naturaleza política o económica. En comparación con los sistemas energéticos basados en combustibles (principalmente petróleo y, en menor medida, gas natural), los nuevos sistemas energéticos basados en energías renovables no son tan dependientes del acceso a los recursos, pero sí del desarrollo de infraestructuras de red (de transporte y distribución) robustas y de una gestión eficiente de las mismas (Scholten & Bosman, 2016).

Las implicaciones geopolíticas son diversas. Por un lado, en el nuevo contexto global el desarrollo de «comunidades de redes energéticas» con alcance regional genera un impacto positivo sobre la seguridad energética y refuerza las bases de estabilidad y paz. Como contrapartida, debe asegurarse una negociación y coordinación eficiente de los intereses y de las estrategias políticas y económicas entre los distintos países. Además, el desarrollo de grandes redes regionales y transnacionales de electricidad incrementa los riesgos geopolíticos asociados a la digitalización y a la tecnología (Koyama, 2019). Por un lado, aumentan los riesgos relacionados con los ataques cibernéticos y la ciberseguridad, mientras que, por otro, se potencian los procesos de competencia y lucha por la supremacía y el liderazgo tecnológico.

2.2.2. La nueva configuración de los sistemas energéticos

Para entender la transformación de las redes energéticas resultante de la transición hacia una economía neutra en emisiones de carbono a través de las tendencias descritas puede establecerse un paralelismo (orientativo) entre las redes energéticas actuales y las que se requerirán para acomodar nuevas formas de energía que permitan la reducción efectiva de emisiones de CO_2 (figura 3).

Un elemento de continuidad claro serán las redes eléctricas, que ganarán protagonismo en el sistema energético gracias a la creciente electrificación del consumo y a la demanda de energía renovable para la producción de hidrógeno y de combustibles sintéticos.

Sobre esta base, el hidrógeno y otros gases renovables podrán ser transportados y distribuidos mediante infraestructuras con configuraciones iguales o similares a los gasoductos actuales, en gran parte aprovechando la infraestructura gasista existente. Del mismo modo, los combustibles renovables líquidos

que desarrollen nichos de mercado viables pasarán a ocupar parte del lugar que hoy en día ocupan los productos petrolíferos (gasóleo, keroseno, etc.), pudiendo, en teoría, aprovechar sus mismos oleoductos de transporte y distribución (segmento *downstream*).

En un escenario de eliminación del consumo de combustibles fósiles, los oleoductos que transportan el petróleo hasta las refinerías (segmentos *upstream* y *midstream*) tendrán menor relevancia. Las estrategias de las compañías petroleras apuntan a la sustitución del segmento *upstream* tradicional en la industria petroquímica por uno basado en la economía circular y el aprovechamiento de residuos, posiblemente en ámbitos geográficos de cercanía (local y regional) a las infraestructuras de refino.

A estos cambios habría que añadir el auge del CO_2 como materia prima para la producción de, entre otros, combustibles sintéticos y materiales de construcción, o para su almacenamiento subterráneo (como una herramienta más para reducir las emisiones netas de GEI). Esto requerirá infraestructuras dedicadas al CO_2, especialmente en entornos industriales.

Hasta la fecha, casi todos los desarrollos en este sentido se concentran en EE. UU. (IEA, 2023b), bien a través de tuberías exclusivas (en ocasiones denominadas «CO2ducto» en castellano) o en combinación con otros fluidos (poliductos). Otros países, como el Reino Unido o Alemania, están empezando a desarrollar infraestructuras a gran escala de transporte de CO_2 para su uso como materia prima (en la industria química o para producir combustibles sintéticos) o para su retirada y almacenamiento (HM Government, 2018; Fernández & Larrea, 2023) como parte de las estrategias de descarbonización del sector industrial. Recientemente, la UE ha incluido un objetivo de inyección de cincuenta millones de toneladas de CO_2 en 2030 en el *Net-Zero Industry Act*, lo que impulsará el desarrollo de redes de CO_2 (European Council, 2023).

Las perspectivas positivas de este sector y la proliferación de proyectos de demostración e I+D en todo el mundo (EE. UU., norte de Europa, Japón, Sudeste Asiático) relacionados con la captura, el transporte y el almacenamiento de CO_2 auguran una creciente relevancia de este tipo de tecnologías y de las infraestructuras asociadas, aunque su desarrollo dependerá de la superación de retos tecnológicos, legales y regulatorios que aseguren las inversiones necesarias (IEA, 2023b).

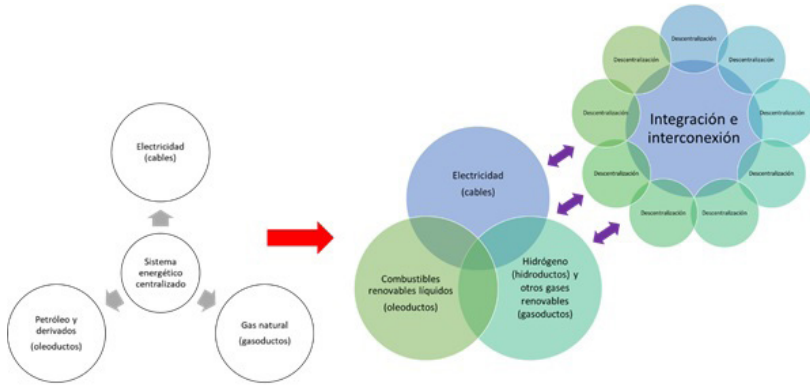


Figura 3. Esquema conceptual de la evolución de las redes del sistema energético para una economía neutra en emisiones de carbono. Fuente: elaboración propia

La transición hacia un sistema energético interconectado e integrado implica cambios simultáneos en distintas escalas (micro y macro). A pequeña escala (micro), se continuará avanzando en la descentralización del sistema energético. Esta dinámica estará fuertemente influenciada por aspectos locales y regionales (regulación, políticas energético-climáticas, industriales y de innovación tecnológica en áreas amplias como la Unión Europea, etc.), por la necesidad de alcanzar resultados en la descarbonización del sistema eléctrico y por el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones limpias. La seguridad de suministro es un objetivo al que también contribuirá la atomización de los recursos energéticos.

A gran escala (macro), también se avanzará en la interconexión e integración de sistemas energéticos (especialmente eléctricos) entre distintos países y continentes. Estos procesos de «regionalización» de los *hubs* energéticos (ver el apartado anterior) dependerán de la cooperación y de las relaciones diplomáticas entre países y bloques regionales. Los factores que están modificando la «geopolítica de la energía» y reconfigurando las alianzas cobrarán mayor relevancia. Además de los retos geoestratégicos, el desarrollo de las grandes infraestructuras de interconexión se enfrenta a otros problemas, como su financiación.

Ejemplos de esta tendencia son el proyecto del cable submarino Xlinks para transportar energía eléctrica renovable de Marruecos a Reino Unido (Lawson, 2022) o el proyecto Australia-Asia Power Link (AAPowerLink) (SunCable, s. f.), que suponen saltos de magnitud relevante en las interconexiones eléctricas hasta ahora



Figura 4. Rutas propuestas para los cables submarinos links (Marruecos-Reino Unido) y AAPowerLink (Australia-Singapur). Fuente: Lawson (2022), SunCable (s. f.)

planteadas (figura 4). Además, podrían citarse otras iniciativas lideradas por China o por la India (ver el apartado 3.1).

En la siguiente sección analizamos con más detalle las implicaciones geopolíticas de los cambios en marcha sobre la configuración de los sistemas energéticos y, en particular, de las redes energéticas y de otras infraestructuras.

3. Redes, trilema energético y geopolítica

3.1. Redes y la nueva geopolítica de la energía

Si en el pasado la solución al trilema energético pasaba por alcanzar equilibrios razonables entre la política medioambiental, energética e industrial, en la actualidad la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles no puede entenderse sin tener en cuenta el contexto geopolítico.

Podría incluso argumentarse que la estrategia geopolítica es la cuarta pata de este «dilema multidimensional». Esto es así por, al menos, dos razones. En primer lugar, por el incuestionable impacto de múltiples variables de alcance global sobre las tres patas del trilema. Por ejemplo, la solución al problema del calentamiento global pasa por articular grandes acuerdos globales y

desarrollar mecanismos de coordinación y gobernanza que den lugar a acciones efectivas para la mitigación de las emisiones (y la adaptación al cambio climático) en todas las economías del planeta. Por otro lado, el desarrollo de una economía basada en tecnologías limpias —y las políticas que lo impulsan— no puede llevarse a cabo sin tener en cuenta cómo se comporta el resto de los actores económicos relevantes, tal y como muestra la llamada «carrera verde» entre China/Sudeste Asiático, EE. UU. y la Unión Europea. Por último, la seguridad del suministro energético, en un sistema energético global interconectado, depende de las relaciones entre los distintos países.

En segundo lugar, asistimos a una fase de la historia en la que coexisten la vieja geopolítica de la energía (basada en combustibles fósiles y cuya dinámica estaba condicionada por las políticas de oferta, controladas por los países productores de petróleo y gas natural) y la nueva geopolítica de la energía limpia y de las tecnologías de bajas emisiones. Los factores que generaban poder y posiciones ventajosas en el tablero global están cambiando y, con ello, las estrategias geopolíticas y la forma de negociar entre las potencias económicas.

Esta nueva geopolítica está determinada por factores como la amenaza climática, las nuevas energías renovables, el desarrollo tecnológico e industrial, las redes energéticas, los materiales críticos y otras materias primas estratégicas, las patentes ligadas a la innovación en tecnologías limpias, las nuevas tecnologías clave como baterías eléctricas, tecnologías que ofrecen flexibilidad a los sistemas energéticos o las basadas en el hidrógeno renovable, y las políticas energético-climáticas en cada región del planeta. La «geopolítica de la energía y del clima» está caracterizada por numerosos retos y transiciones en marcha[4], por la atomización del universo de agentes relevantes y por la necesidad de aprender y generar nuevas capacidades de colaboración y negociación en múltiples áreas, como la de los recursos y las materias primas críticas, la tecnología, las redes de transporte de energía transfronterizas, etc. (Paltsev, 2016).

Todos estos factores y tendencias están cambiando el papel que tienen las redes energéticas en la geopolítica de la energía, aunque no han modificado su protagonismo. Según Westphal *et al*. (2022), suele subestimarse la relevancia geopolítica de las redes

[4] En relación con la amenaza climática algunos autores hablan de una situación de «policrisis» (Jørgensen *et al.*, 2023).

energéticas. Si tras la Segunda Guerra Mundial se produjo en territorio europeo una carrera entre la Unión Europea y Rusia por la integración de sistemas eléctricos, en la actualidad se observa una competición por reconfigurar las redes eléctricas a escala regional entre la UE, China, Rusia e incluso, más allá del mar Negro, Irán y Turquía.

En Europa central y occidental, los sistemas eléctricos sincronizados han facilitado el acceso de las grandes economías a áreas geográficas y mercados más amplios, con más infraestructuras y con un mayor número de interacciones y oportunidades económicas y sociales, lo que, sin duda, impulsó la integración política y el crecimiento económico en las últimas décadas.

Pero la estabilidad de la red y el desarrollo socioeconómico no son los únicos inductores de la interconexión de sistemas energéticos. Hoy en día, la transformación de los sistemas energéticos en sistemas descarbonizados y el interés geopolítico son factores muy relevantes en el desarrollo de las redes energéticas y, en específico, de las interconexiones entre sistemas adyacentes.

Por ejemplo, China está impulsando una estrategia que supone incrementar la conectividad energética (en especial la eléctrica) a escala continental, para lo que está creando múltiples *hubs* energéticos y económicos en todo el territorio chino y en países vecinos como la India[5] dentro de grandes iniciativas geopolíticas como la Belt & Road Initiative (BRI) (McBride *et al*., 2023). La BRI china, lanzada en 2013 como parte de la visión del presidente Xi Jinping de crear una «comunidad global de futuro compartido», tiene como principal objetivo desarrollar infraestructuras (energéticas, de transporte, digitales) en países de todo el planeta para fortalecer el liderazgo económico-comercial, tecnológico, industrial, político, social y cultural de China (SCIO, 2023). Por tanto, resulta indudable el papel central de las redes energéticas (y de la conectividad, en sentido amplio) en la política exterior y en la estrategia geopolítica de China.

Una pieza esencial dentro de la estrategia china de incrementar la «conectividad energética» es la electrificación del sistema energético y el desarrollo y la integración de grandes redes eléctricas regionales (Cornell, 2019). El plan *Global Energy Interconnection*, lanzado por la empresa estatal china de transporte de electrici-

[5] La propia India está poniendo en marcha diversas iniciativas para desarrollar interconexiones en la zona *South-South West Asia* (SSWA) (Kharbanda, 2022).

dad, China State Grid, en 2016 para impulsar el desarrollo de las energías renovables, es un claro ejemplo de ello junto con la iniciativa BRI.

La principal idea detrás de esta estrategia es que desarrollar estos grandes conjuntos de infraestructuras interconectadas a escala continental, controlar su operación y sus tecnologías clave relacionadas con las mismas y desarrollar mercados energéticos integrados ofrece un canal para distribuir y afianzar el poder político en otros países además de capturar otros beneficios (menores costes de suministro, penetración de las energías renovables, mejora del acceso a la energía, incremento del comercio transfronterizo). En definitiva, avanzar en la electrificación reduce la vulnerabilidad de China en el marco geopolítico actual (Meidan, 2023).

Esta es la razón por la que China lleva años promocionando esta iniciativa en foros internacionales como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la Conferencia Ministerial sobre Energía Limpia, la Unión Africana o el Consejo de Cooperación del Golfo (CCG).

La estrategia de conectividad china se asienta en tres grandes pilares u objetivos que fortalecerían su posición geoestratégica: desarrollar una gran red troncal intercontinental de transporte y distribución de energía eléctrica bajo control chino; crear bases energéticas en las regiones polares, en el ecuador y en cada continente; y crear una «plataforma global» inteligente que facilite la asignación de recursos y el comercio internacional.

En fuerte contraste con el caso chino existen barreras regulatorias y estructurales (insuficiente armonización legal, heterogeneidad en las estructuras económicas, etc.) que ralentizan el avance del proceso de integración energética y económica de la Unión Europea con otros territorios colindantes (norte de África y sudeste del continente europeo principalmente) (Westphal *et al*., 2022).

3.2. Redes y trilema energético

Junto con los objetivos geopolíticos mencionados en el apartado anterior, las redes energéticas contribuyen a avanzar en la solución del trilema energético. La UE reconoce la relevancia de reforzar las redes energéticas para ello. En el Plan REpowerEU,

la Comisión Europea estimó que se necesitan 600 000 M€ de inversión en la próxima década únicamente en la red eléctrica (transporte, distribución y almacenamiento) para cumplir con los objetivos anteriores en el contexto generado tras la «desconexión energética» de Rusia (European Commission, 2022a). Además, deberán dedicarse recursos financieros a reforzar las redes gasistas, desplegar nuevas instalaciones de GNL y crear las infraestructuras necesarias para impulsar la cadena de valor del hidrógeno verde.

Para avanzar en los objetivos marcados en REPowerEU y evitar cuellos de botella que pongan en peligro los objetivos marcados para 2030, a finales de noviembre de 2023 la Unión Europea lanzó un plan de acción para las redes, *Grids, the Missing Link – An EU Action Plan for Grids* (European Commission, 2023a), que busca acelerar las inversiones en las redes energéticas y su transformación en redes más descentralizadas, digitalizadas y flexibles. Este plan para el despliegue de inversiones en redes, que se apoya también en otras estrategias y normativas europeas (reglamento TEN-E, nueva directiva de energía renovable, *Net-Zero Industry Act* y reforma del diseño del mercado eléctrico), busca acelerar la implementación de los proyectos de interés común, mejorar la planificación integrada y la coordinación de las redes energéticas, fomentar un uso más eficiente de las redes mediante nuevas tarifas adaptadas a redes inteligentes y a nuevas tecnologías, facilitar la financiación de las inversiones y fortalecer las cadenas de valor, y armonizar los requisitos de fabricación de componentes de las redes.

3.2.1. Descarbonización y lucha contra la amenaza climática

El desarrollo de las redes energéticas es una condición *sine qua non* para avanzar en la transición sostenible, ya que facilita la reducción de las emisiones de GEI y los impactos medioambientales asociados al consumo de energía.

En los próximos años, las redes eléctricas deberán expandirse (y actualizarse) de forma significativa para acomodar la generación de energía renovable (principalmente eólica y fotovoltaica) que permita cubrir el incremento del consumo de electricidad necesario para alcanzar las cero emisiones netas y limitar el incremento de la temperatura media del planeta a niveles razonables (IEA, 2023a). Este mayor consumo de electricidad estará asociado al despliegue a escala global de los vehículos eléctricos (en el trans-

porte ligero, por ejemplo) y de otras tecnologías eléctricas (como las bombas de calor en el sector residencial o los hornos y calderas eléctricos en los sectores industriales), y a nuevos usos de la electricidad (por ejemplo, para realizar electrolisis en instalaciones de producción de hidrógeno verde).

La Comisión Europea estima que el incremento de la demanda de electricidad podría alcanzar el 60 % hasta 2030 y que la capacidad de generación renovable podría aumentar hasta en 600 GW en ese periodo, incluyendo la conexión de más de 300 GW de eólica marina (European Commission, 2023a).

Según BNEF, deberán invertirse más de 21 billones de dólares en redes hasta 2050 para alcanzar globalmente las cero emisiones netas en esa fecha (BNEF, 2023). Una parte importante de estas inversiones (entre un tercio y la mitad) deberán llevarse a cabo en lugares del planeta distintos de la UE, EE. UU., China o la India. En conjunto, esto implicará doblar en esa fecha la longitud de las redes actuales y destinar una parte muy relevante de las inversiones (casi un cuarto) a la digitalización de los sistemas de transporte y de distribución.

El objetivo es avanzar en la automatización y bidireccionalidad de toda la red eléctrica, en especial en la de la red de distribución (particularmente en la de baja tensión), que deberá disponer de herramientas de operación para hacer frente a escenarios operativos más complejos y sujetos a desequilibrios puntuales entre oferta y demanda en nodos concretos de la red debido al despliegue masivo de recursos energéticos distribuidos, a la aparición de prosumidores, etc.

En el ámbito de la red de transporte serán necesarias fuertes inversiones en interconexiones entre sistemas eléctricos vecinos y conexiones con los parques de energía eólica marina. También se necesitarán otras inversiones de refuerzo para mantener el equilibrio entre los distintos sistemas de distribución embebidos o para unir grandes centros de consumo de energía con lugares con una ventaja comparativa en la producción de energía eléctrica renovable a bajo coste (por ejemplo, el Sáhara).

Además de facilitar la penetración de energía eléctrica renovable, las redes energéticas actuales pueden dar soporte al despliegue de nuevas soluciones energéticas que permitan acelerar la reducción de las emisiones de GEI, en especial en el caso de sectores difíciles de descarbonizar como es el caso de muchos sectores industriales. Por ejemplo, las redes de gas natural pueden

facilitar la participación de otras energías renovables (como el biogás o el biometano) en la matriz energética y dar un impulso a la descarbonización de determinadas actividades industriales con hidrógeno renovable.

Además, alcanzar todos estos objetivos implicará integrar de manera efectiva las distintas redes energéticas. La estrategia de integración del sistema energético de la UE de 2020 (European Commission, 2020a) apuesta por la planificación y el funcionamiento coordinados del sistema energético en su conjunto, incluyendo múltiples vectores energéticos, infraestructuras y sectores de consumo. Esto se lograría incrementando la circularidad del sistema energético en conjunto (limitando las pérdidas de energía —calor residual—, maximizando el aprovechamiento de todos los recursos energéticos —incluidos los residuos—, etc.); fomentando la electrificación de consumos finales donde sea eficiente y viable (mediante vehículos eléctricos, bombas de calor, hornos eléctricos); utilizando combustibles renovables alternativos (incluyendo el hidrógeno) para cubrir las actividades donde la electrificación no sea viable; e incrementando la multidireccionalidad del sistema energético para fomentar el papel activo de los consumidores (a través de la inyección de biometano proveniente de residuos orgánicos, servicios v*ehicle-to-grid*, etc.).

3.2.2. Impacto sobre la competitividad de las economías

El desarrollo de las redes energéticas para dar respuesta a los retos energético-medioambientales tendrá un impacto directo sobre la competitividad (económica) de las distintas economías a través de varias vías.

Las redes energéticas son un factor crítico para la determinación de precios de la energía y de costes energéticos competitivos para los distintos agentes ya que definen los sistemas físicos en los que se desarrollan los mercados energéticos (sistemas eléctricos más mallados y mejor interconectados tenderán a formar zonas de mercado de mayor extensión y con mayor liquidez); facilitan la importación de combustibles fósiles (petróleo, gas natural o GNL, carbón) en áreas geográficas con menos recursos propios; permiten la integración eficiente de energías renovables y de otros recursos energéticos distribuidos (gestión activa de la demanda, almacenamiento distribuido, etc.); ofrecen mecanismos de eficiencia y flexibilidad (compartiendo recursos entre sistemas adyacentes a través de las interconexiones para miti-

gar las puntas de precios en situaciones de escasez de oferta o facilitando la provisión de servicios complementarios al menor coste); y posibilitan el despliegue de alternativas energéticas limpias para la industria y para otros sectores clave en la economía.

Por lo tanto, en general los sistemas energéticos con redes con mayor cobertura geográfica, más malladas, resilientes, flexibles e interconectadas darán lugar a combinaciones energéticas y a mercados de energía que inducirán el menor coste de suministro posible para los hogares y las empresas. Este ha sido uno de los pilares de la política europea de desarrollo del mercado interior de energía y de las infraestructuras asociadas al mismo.

Por ejemplo, el fuerte incremento de los precios de la energía durante la crisis energética de 2021-2022 fue uno de los factores (junto con las restricciones en las cadenas de suministro globales) que impactó de forma negativa en la producción industrial europea (Chiacchio *et al*., 2023). Además, la evidencia empírica sugiere que, en situaciones de precios de la energía elevados, las importaciones de bienes y de servicios sustituyen a la producción autóctona, especialmente en los sectores industriales intensivos en energía (químico, producción de minerales no metálicos, industrias del metal y del papel, etc.) que conforman la base de la estructura económica en muchas regiones europeas. Otros estudios muestran una relación negativa entre *shocks* al alza en los precios de la energía y la productividad de las empresas (André *et al*., 2023).

En la Unión Europea, el impulso a la integración de los mercados energéticos ha dado lugar a una mayor convergencia de los precios del gas natural y de la electricidad entre los distintos sistemas energéticos nacionales en las dos últimas décadas (European Commission, 2020b), aunque aún hay camino por recorrer (Cassetta *et al*., 2022). Esto ha tenido un efecto positivo sobre la competencia en los mercados de bienes y servicios de la Unión Europea (al reducir el impacto de los costes energéticos como inductores de competitividad de las empresas en distintos países).

Pese a ello, las diferencias de precios entre sistemas energéticos son aún bastante significativas, lo que sugiere que habría grandes ganancias en el bienestar social si aumentara la capacidad de interconexión entre los sistemas eléctricos y entre los sistemas gasistas nacionales en la UE. Por ejemplo, Dimopoulos *et al*. (2023) estiman que el valor de la capacidad de interconexión

eléctrica en el sistema europeo se multiplicó por seis durante la última crisis de precios energéticos (entre el primer semestre de 2021 y el segundo semestre de 2022) y que, dado el potencial de arbitraje de precios entre mercados existente, las grandes inversiones en interconexiones se amortizarían en unos pocos años.

Las diferencias en los precios de la energía en distintos sistemas energéticos no solo afectan a la competitividad de las economías a través de los costes de operación. Barteková y Ziesemer (2019) encuentran que los precios elevados de la energía tienen un efecto negativo sobre la inversión extranjera directa. Además, los costes energéticos también influyen en la ubicación de las empresas y de las industrias (Mengher, 2020).

De esta manera, el acceso a energía de bajo coste (y limpia) se convierte en un importante inductor de competitividad en el proceso de transición hacia las cero emisiones netas. Este efecto se verá reforzado a media que la tendencia global a poner en marcha mecanismos para fijar el precio de las emisiones de CO_2 se vaya consolidando (World Bank Group, 2023).

Sin duda, en este contexto las redes energéticas tendrán un papel crítico en el desarrollo de la competitividad de los territorios. Day (2022) argumenta que las barreras al transporte de energía renovable (asociadas a la configuración de las redes eléctricas) alteran la dinámica de la localización industrial y proporcionan una ventaja competitiva a las regiones que cuentan con abundantes recursos energéticos renovables de bajo coste. El desequilibrio geográfico en la ubicación de los recursos energéticos limpio también genera, para garantizar el acceso a «energía limpia asequible», el reto adicional de equilibrar los objetivos de equidad y justicia social con la necesidad de reforzar la seguridad de suministro (especialmente tras la invasión de Ucrania por parte de Rusia) e, incluso, de alcanzar un mejor posicionamiento en el mapa geopolítico global (Kuzemko *et al*., 2023).

Las implicaciones geopolíticas sugieren que adoptar una posición de liderazgo en el desarrollo de las nuevas redes energéticas integradas será beneficioso para cualquier economía. Desde el punto de vista de la UE, esto no solo implica seguir avanzando en la construcción del mercado interior a partir de unas redes energéticas robustas, sino también reforzar las interconexiones con otros sistemas energéticos vecinos (mediante la adopción de una visión de desarrollo de *hubs* energéticos regionales de

gran escala) y la conectividad del sistema energético europeo en general.

En opinión de Westphal *et al*. (2022), la electricidad debe tener un papel protagonista en la política exterior europea asegurando el liderazgo de la UE en la promoción de sistemas interconectados de gran escala y favoreciendo la adopción de las normas y los estándares europeos no solo para facilitar la integración de los sistemas energéticos y económicos, sino también para crear ventajas competitivas tecnológicas e industriales para las empresas y las cadenas de valor europeas.

3.2.3. Seguridad del suministro energético

El desarrollo de redes energéticas integradas, digitales, flexibles, resilientes y con interconexiones robustas entre sistemas energéticos vecinos también contribuirá al tercer pilar del trilema —la seguridad del suministro energético— y, desde el punto de vista geopolítico, a la seguridad de los países.

Las nuevas redes energéticas inteligentes e integradas incrementarán la resiliencia de los sistemas energéticos y su capacidad de respuesta a situaciones de estrés en los mercados globales, regionales y locales debidas a desequilibrios significativos entre oferta y demanda, a eventos desfavorables relacionados con el cambio climático (por ejemplo, líneas o gasoductos dañados por algún evento meteorológico) o a otro tipo de situaciones con efectos potencialmente muy negativos para una economía (ciberataques o ataques físicos contra las infraestructuras, etc.)[6].

Además de incrementar la eficiencia agregada (y, por tanto, el suministro energético con el menor coste), la interconexión entre sistemas energéticos vecinos (y una operación coordinada eficiente)[7] es una vía obvia para incrementar la seguridad del suministro energético a través de la diversificación de las fuentes de suministro y de nuevas herramientas de flexibilidad que permiten

[6] FSR (2023) resume algunos de los eventos disruptores que han afectado a las redes gasistas en la UE en los últimos años, incluyendo las acciones de Rusia, el sabotaje del gasoducto Nord Stream 1, eventos meteorológicos, fallos operativos, desconexiones de flujos en interconexiones por impagos, etc. Recientemente, en octubre de 2023, se produjeron sabotajes a infraestructuras energéticas (gasoducto de interconexión BalticConnector) y de comunicaciones (cables submarinos que conectaban Estonia con Finlandia y Suecia) (Chiappa, 2023).

[7] Ver ACER (2022), p. 24.

importar energía en momentos de déficit (y exportarla cuando sobra en un sistema).

En un sentido más general, la conectividad[8] de un país (incluyendo sus redes energéticas) complementa su poder terrestre, marino y aéreo. Por otro lado, debido a su impacto sobre la economía y sobre todas las dimensiones del funcionamiento de un país y de una sociedad modernos, el control sobre las infraestructuras y las redes energéticas resulta vital para la seguridad nacional y para generar poder e influencia en la escala global (IRENA, 2019).

Estos potenciales efectos de distinto signo dan lugar a una fuerte tensión entre el objetivo de mantener la soberanía energética[9] y el de mejorar la seguridad del suministro a través de la cooperación y la integración con sistemas energéticos vecinos.

En el caso de la Unión Europea, parece difícil argumentar que la integración de los sistemas energéticos a través de redes e infraestructuras mejor interconectadas no haya mejorado la seguridad del suministro energético.

La crisis energética de 2021-2022 en la UE ofrece un buen ejemplo de cómo un conjunto de redes e infraestructuras conectadas y resilientes pudieron dar respuesta a un *shock* de oferta de excepcional magnitud y con un elevado daño potencial para las economías europeas como fue el corte progresivo de suministro de gas natural hacia el oeste desde Rusia desde finales de 2021. En el verano de 2022 la crisis energética motivada por la caída de los flujos de gas natural desde Rusia se vio amplificada por los problemas del parque de centrales nucleares en Francia, que

[8] Para la Comisión Europea, «…La conectividad tiene que ver esencialmente con las redes. Pueden ser conexiones de transporte: por aire, tierra o mar. La conectividad puede consistir en redes digitales: móviles o fijas, de cables o con satélites, de la red troncal de internet a la última milla. La conectividad también incluye las redes y flujos de energía: desde el gas, incluido el gas natural licuado (GNL), hasta las redes eléctricas, desde las energías renovables hasta la eficiencia energética. Por último, la conectividad tiene una dimensión humana muy evidente: desde la cooperación en educación, investigación e innovación hasta los viajes y el turismo…» (European Commission, 2018, traducción propia).

[9] El carácter estratégico de las redes energéticas es la razón más importante por la que, en los últimos años, distintos países han bloqueado el control por parte de la empresa estatal china State Grid de activos y empresas relevantes en países como Australia (AusGrid), Bélgica (Eandis) o Alemania (50Hertz) (IRENA, 2019) aún a costa de renunciar a determinadas inversiones en activos relevantes para esos sistemas energéticos o a mejorar la capacidad económico-financiera de las empresas de redes.

pasó de ser exportadora a importadora de electricidad[10]. Estos dos eventos crearon una situación generalizada de escasez y de precios elevados de la energía en todos los países europeos.

Para Zachmann (2023), la crisis se superó gracias a una masiva reordenación de los flujos energéticos, al reequilibrio entre la oferta y la demanda de energía a gran escala a partir de las señales de los precios de mercado, a las políticas de coordinación que permitieron acelerar el llenado de los almacenamientos de gas natural para hacer frente al invierno de 2022-2023 y a la construcción exprés de nuevas infraestructuras de GNL.

Todos estos factores apuntan a que las redes energéticas fueron los principales artífices del éxito de esta estrategia de respuesta al actuar como facilitadoras del funcionamiento eficiente de los mercados mayoristas (ACER, 2022) —en especial de los mecanismos de flexibilidad como los servicios complementarios y de gestión de restricciones en el caso de la electricidad, o de los mecanismos de balance en el caso del gas natural— y abrir nuevas opciones de suministro de energía (gas natural o electricidad) hacia los sistemas que sufrieron los peores episodios de escasez (como Alemania en el caso del gas natural o Francia en el caso de la energía eléctrica).

En el caso del gas natural, las redes energéticas existentes en Europa occidental (figura 5) permitieron articular una estrategia de llenado rápido de almacenamientos subterráneos en 2022, lo que, junto con otras medidas orientadas a la diversificación de los suministros de GNL y a la reducción de la demanda de gas natural, generó en muy poco tiempo alternativas al suministro desde Rusia.

En el caso de la electricidad, el desarrollo del mercado interior de electricidad, facilitado por las interconexiones entre sistemas eléctricos vecinos, no solo permitió superar en Francia una de las peores crisis de suministro de su historia —el nivel de disponibilidad del parque nuclear en el verano de 2022 fue el menor en más de 30 años—, sino que ha impulsado la puesta en marcha de políticas para el despliegue acelerado de energías renovables en

[10] En particular, más de la mitad de los 56 reactores nucleares estaban parados a mediados de agosto de 2022 en Francia debido a paradas programadas, condiciones atmosféricas adversas (temperaturas o sequía) y problemas diversos con componentes clave de las centrales relacionados con corrosión y otras cuestiones (GRS, 2023; Murray, 2023). Como consecuencia de esta situación, Francia pasó de ser exportador neto de electricidad (+44 TWh en 2021) a importador neto (-16 TWh en 2022).

toda Europa con el objetivo de reducir la dependencia energética del exterior[11].

Aún es pronto para saber cuáles son todas las implicaciones reales de la crisis de 2021-2022 sobre la estrategia de la UE relativa a las redes energéticas, pero pueden delinearse algunas de las líneas maestras para los próximos años, que incluyen:

- avanzar en el mercado interior de energía en electricidad y gas natural de acuerdo con el plan de acción sobre redes energéticas ya mencionado y buscar el cumplimiento de los objetivos de interconexión (15 % de la generación eléctrica en 2030 y 70 % de la capacidad de interconexión a disposición del comercio transfronterizo a finales de 2025);
- el incremento de las interconexiones gasistas con otros sistemas vecinos (Noruega, sudeste de Europa, norte de África);

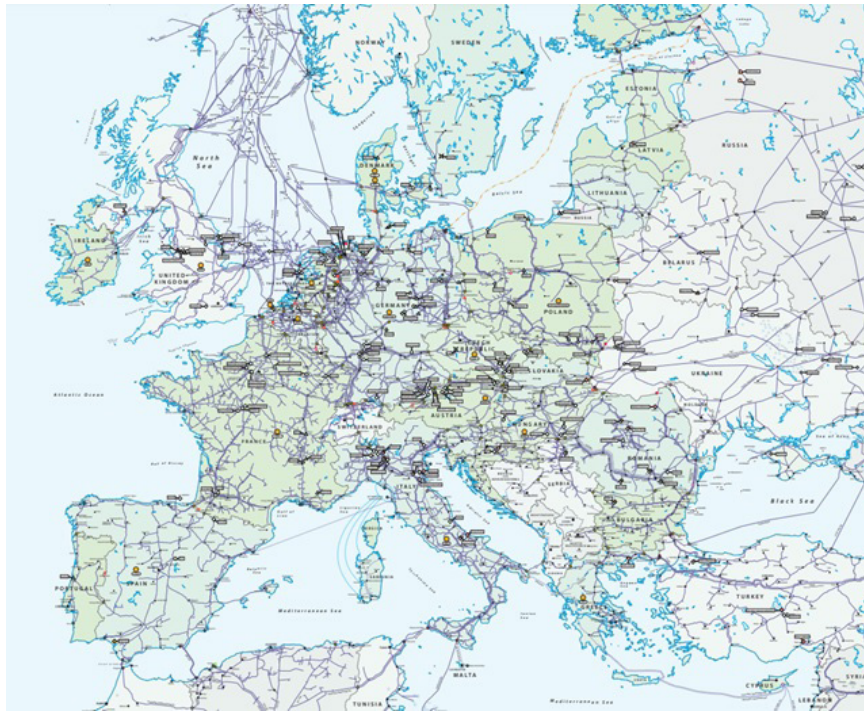


Figura 5. Infraestructuras de gas natural y GNL en Europa en diciembre de 2022. Fuente: GIE (2023)

[11] Se estima que en 2023 aumentó la capacidad de generación solar en Europa en unos 60 GW, con un incremento también significativo en capacidad eólica (O'Malley *et al*., 2023).

- el impulso de las redes europeas de hidrógeno de acuerdo con la estrategia de hidrógeno (2020) y la estrategia de integración de los sistemas energéticos (2020);
- la desconexión total de los suministros de gas natural desde Rusia (aún no alcanzada);
- la sincronización de los sistemas bálticos y su plena integración en el sistema eléctrico de la UE;
- la exploración de nuevas interconexiones eléctricas (Ucrania, Moldavia, Marruecos).

4. Retos y riesgos asociados al desarrollo de las nuevas redes energéticas

4.1. Principales retos y riesgos

La futura evolución de las redes energéticas europeas para alcanzar la mejor solución posible del trilema energético cumpliendo con objetivos geopolíticos relevantes como los analizados en la sección anterior se enfrenta a múltiples retos financieros, regulatorios, políticos, sociales, técnicos y geoestratégicos que resumimos en la tabla 1.

Reto	**Riesgos asociados a no superar el reto**
Financiación adecuada del desarrollo de las redes	Cuellos de botella en la penetración de tecnologías limpias
Marcos normativos y regulatorios eficientes	Cuellos de botella en la penetración de energías renovables y de otros recursos energéticos distribuidos Mayores costes de suministro a medio plazo
Cambio efectivo de la matriz energética (aceleración de la electrificación y avance en el uso final de otras energías renovables)	Activos varados si la transición no es ordenada Mayores costes de suministro a medio plazo Dificultad para reducir las emisiones de manera significativa en los próximos diez años
Interconexión con sistemas energéticos adyacentes	Pérdida de soberanía energética Menor seguridad de suministro Mayores costes del suministro energético y del proceso de descarbonización
Mayor integración entre sistemas energéticos	Mayores costes de suministro y del proceso de descarbonización Ineficiencia en el uso de recursos energéticos (insuficiente circularidad, etc.)

Reto	Riesgos asociados a no superar el reto
Avance de la digitalización	Ciberriesgos en sectores críticos (energía, telecomunicaciones, transporte) Mayores costes de operación de las redes y los sistemas energéticos
Diversificación de los sistemas energéticos nacionales y regionales	Menor seguridad de suministro por mayor probabilidad de eventos disruptivos
Protección de los sistemas de infraestructuras	Vulnerabilidad ante ataques terroristas
Innovación asociada a redes inteligentes y a tecnologías de consumo limpias	Dificultad para integrar recursos energéticos distribuidos (electricidad), nuevas energías y vectores renovables (gases verdes, hidrógeno) y otros recursos energéticos (calor, residuos)
Planificación coordinada de las redes	Incremento de los costes de suministro Duplicación de activos
Apoyo social al despliegue de infraestructuras	Cuellos de botella en la penetración de energías renovables Retrasos en la descarbonización del sistema energético

Tabla 1. Principales retos y riesgos asociados al desarrollo de las redes energéticas Fuente: elaboración propia

Desde el punto de vista de las implicaciones geopolíticas cabe analizar algunos de estos retos y riesgos con más detalle, en particular los asociados a la transición energética y a la ciberseguridad.

Hay dos aspectos que deben destacarse. En primer lugar, la interconexión física entre sistemas energéticos incrementa el potencial alcance geográfico de disrupciones significativas en el suministro de energía o en los mercados energéticos, en especial en un contexto de mayor penetración de energías renovables (Vakulchuk *et al*., 2020). Además, la integración de sistemas energéticos distintos (electricidad, gas natural, calor, hidrógeno…) implica que estas disrupciones tendrán impacto en múltiples sectores y áreas de la economía. Esto obliga a los países a adoptar una visión conjunta sobre cómo afrontar la seguridad física y digital de las infraestructuras críticas, y a establecer cortafuegos adecuados para evitar el contagio geográfico y multisectorial de problemas graves de suministro de energía.

Otros riesgos derivados de la transición energética, también con implicaciones geopolíticas, tienen que ver con los desequilibrios

(temporales y/o geográficos) entre la oferta y la demanda de energía como consecuencia de niveles insuficientes de inversión (debido, por ejemplo, a señales o incentivos inadecuados), de un desarrollo lento de las tecnologías más disruptivas, de un mal diseño de las políticas energético-climáticas o de cuellos de botella en la penetración de energías renovables asociados a una expansión ralentizada de las redes energéticas. Estas deberán desarrollarse de forma ordenada y teniendo en cuenta la mayor complejidad del sistema energético del futuro, caracterizado por múltiples interacciones entre combustibles sólidos (biomasa), líquidos y gaseosos, y electricidad (IEA, 2021).

Pese a ello, la balanza se inclina del lado de continuar avanzando en la transición sostenible bajo una visión de integración entre sistemas energéticos con el objetivo de generar mayor eficiencia, facilitar el cambio en las matrices energéticas y diversificar las fuentes del suministro de energía.

Giuli y Oberthür (2023) argumentan que el posicionamiento geopolítico de la UE mejorará en una economía global con tecnologías limpias y cero emisiones netas frente a la situación actual de dependencia de los combustibles fósiles. Este planteamiento es también compartido por IRENA (2019).

Por otro lado, la tendencia de «desglobalización» en marcha genera oportunidades industriales, pero también riesgos climáticos asociados a la «carrera verde» (acceso a materiales críticos, desarrollo de nuevas tecnologías y conocimientos, necesidades de financiación a gran escala, etc.) e, incluso, riesgos de grandes apagones y problemas de suministro en sistemas energéticos o ataques cibernéticos. El agresivo posicionamiento de China en las principales cadenas de valor de materias primas críticas para la transición sostenible y tierras raras es un claro ejemplo de la relevancia geoestratégica de estos materiales y de cómo están reconfigurando la geopolítica de la energía a escala global (Meidan, 2023; Andrews-Speed, 2023).

Pese a los riesgos que implica la mayor dependencia de materiales críticos y tierras raras, la UE dispone de herramientas para gestionarlos (Giuli y Oberthür, 2023), lo que incluye la reducción de la demanda energética a través de una mayor eficiencia, la economía circular, las políticas tecnológicas e industriales orientadas al desarrollo de cadenas de valor relevantes (almacenamiento de energía eléctrica, hidrógeno, etc.), la explotación de recursos naturales en suelo europeo y el fortalecimiento de las

relaciones con «naciones amigas» para diversificar los aprovisionamientos e importaciones desde el exterior.

El desarrollo de políticas industriales proteccionistas en la UE, una coordinación adecuada de estas y relaciones equilibradas con China y con otros países relevantes en las cadenas de valor de materias primas críticas para la transición son algunos de los retos a los que se enfrenta la economía europea.

El problema de la ciberseguridad[12] en el sector energético es otro de los riesgos que han aflorado con toda crudeza en los últimos tiempos, convirtiéndose en un aspecto crítico a la hora de definir estrategias geopolíticas de interconexión e integración de las redes energéticas en un contexto en el que la digitalización es imparable en toda la cadena de valor de la energía. Existen ya ejemplos de la gravedad de los ataques cibernéticos en el sector energético como los ataques a subestaciones eléctricas en Ucrania en 2015 y 2016, el intento que se produjo en 2022 (previo a la invasión por parte de Rusia) (O'Neill, 2022) o el ataque al gasoducto Colonial en EE. UU. en 2021 (Vasquez, 2022). Recientemente se produjo un ataque cibernético a las instalaciones de residuos nucleares de Sellafield, en el Reino Unido (Isaac y Lawson, 2023).

Por lo tanto, la posibilidad de que se utilice la disrupción del suministro energético (u otro tipo de amenazas sobre activos críticos) mediante ciberataques como un arma estratégica es real y tiene claras implicaciones geoestratégicas y militares.

Fang *et al*. (2023) analizan los posibles escenarios derivados del plan de los países bálticos (BRELL) de sincronizar su sistema eléctrico con el de la Unión Europea y desconectarlo del sistema eléctrico ruso. Su análisis sugiere que, en el futuro, la capacidad de control sobre la red eléctrica y la instalación de sistemas de respaldo tendrán un papel muy relevante en los sistemas energéticos regionales y, en el caso de la relación entre la Unión Europea y Rusia, con implicaciones para la OTAN.

Para dar respuesta a este tipo de amenazas se están diseñando y comenzando a aplicar estrategias multidimensionales (militares, digitales, etc.). En la UE, la macroestrategia *EU Security Union Strategy* (European Commission, 2020b), lanzada en 2016, pone a la ciberseguridad y la protección de activos críticos en el centro de las medidas orientadas a garantizar la seguridad de las

[12] Ver Ayerbe (2020).

infraestructuras y de las comunicaciones en el sector energético (y en otros sectores). Además, la UE está trabajando en una política de ciberseguridad de amplio alcance (European Commission, 2022b) para estrechar la cooperación entre agentes militares y civiles, mejorar el conocimiento, la inteligencia y las capacidades sobre ciberseguridad, invertir en el desarrollo de nuevas tecnologías y fomentar el diálogo y la cooperación con aliados y socios relevantes.

4.2. Cómo avanzar en el desarrollo de redes energéticas en la UE

En vista del reto mayúsculo que supone para la UE desplegar las redes energéticas y alcanzar una solución adecuada al trilema energético y a los desafíos geopolíticos, cabe preguntase cómo pueden diseñarse políticas de desarrollo de las redes de gas natural, hidrógeno y electricidad en la UE que sean compatibles entre sí evitando contradicciones que minen su eficiencia.

El problema surge porque la actividad de desarrollo de las redes energéticas es, normalmente, un monopolio natural. Por ello, su planificación es responsabilidad de las autoridades regulatorias y legislativas de cada Estado miembro pese a la existencia de legislación[13] y estrategias «paraguas» en la UE claramente orientadas a la interconexión de los sistemas energéticos, la creación del mercado interior de la energía (Parlamento Europeo, 2023) y la integración de los distintos sistemas energéticos (electricidad, gas natural, hidrógeno, calor, residuos…), y apoyadas por la visión agregada de las asociaciones de operadores de redes ENTSO-E y ENTSO-G en los planes de desarrollo de las redes, que se publican cada dos años, para los siguientes diez años (TYNDP).

En la actualidad, la coordinación de todos estos esfuerzos en el ámbito de la UE se lleva a cabo en grupos específicos dedicados a la planificación de infraestructuras como los grupos de políticas regionales TEN-E, en otros grupos de alto nivel relevantes (CESEC, BEMIP, South-West Europe, NSEC), en el Grupo de Coordinación del Gas o en la plataforma de GNL. Además, la UE pide a los Estados miembros que alineen sus planes de recupe-

[13] El artículo 194 del Tratado de Funcionamiento de la UE establece competencias de la UE en materia de política energética como el establecimiento de estrategias y políticas sobre transición energética, la eficiencia energética, el desarrollo de redes energéticas integradas para interconectar los distintos sistemas energéticos nacionales o la seguridad del suministro energético. Sin embargo, cada Estado miembro es libre de impulsar sus propias combinaciones energéticas.

ración y resiliencia con los objetivos de REPowerEU (European Commission, 2022a).

Sin embargo, en la práctica el desarrollo de las redes (siempre dentro de las directrices europeas) es responsabilidad de las planificaciones nacionales, lo que conlleva problemas geopolíticos intracomunitarios y problemas de coordinación y alineamiento. Algunos casos paradigmáticos de estas fricciones de carácter estratégico son las distintas visiones sobre la energía nuclear o el hidrógeno en países tan relevantes en la UE como Francia o Alemania. Incluso el desarrollo de las energías renovables se ha producido en los últimos años a diferente velocidad en distintos países en función de sus intereses nacionales.

¿Cómo avanzar entonces en el desarrollo de redes energéticas europeas modernas, resilientes y que permitan cumplir con todos los objetivos comentados?

Autores como Pepe (2022) apuestan claramente por continuar reforzando la cooperación entre los Estados miembros de la UE (y también entre las regiones) en torno a los grandes objetivos de la UE (creación de un mercado interior de la energía real, refuerzo de las interconexiones entre sistemas nacionales, exploración de socios energéticos potenciales entre terceros países, impulso de proyectos de interés común que estén sujetos en la menor medida posible al juego de los intereses nacionales, etc.) y por trabajar en el diseño y la aplicación de mecanismos de gobernanza flexibles y eficientes.

La creciente importancia de la conectividad de las redes energéticas en la UE y la necesidad de garantizar una mayor resiliencia y protección del sistema energético europeo, puestos de manifiesto durante la crisis energética de 2021-2022, requerirá esfuerzos de coordinación entre los distintos países en los ámbitos económico-financiero, diplomático e incluso militar (para la protección adecuada de las infraestructuras críticas en las redes comunes). El enfoque en el desarrollo industrial y la generación de ventajas competitivas frente a otras regiones competidoras (China, EE. UU.) a partir de un sistema de innovación efectivo es otro de los ingredientes del éxito de este proceso (Westphal *et al*., 2022).

Sin embargo, pese a tener claros los objetivos, los retos y los riesgos asociados (como muestra el reciente Plan de Acción de Redes, de noviembre de 2023), todavía no existe una gobernanza energética integral en la UE debido a las tensiones entre

los distintos niveles de toma de decisión. El desarrollo coordinado de las redes energéticas requerirá (Pepe, 2022):

- reforzar las bases de un acuerdo amplio sobre política energética en la UE con dos líneas de acción: (a) interna (financiación a gran escala de infraestructura energética, con énfasis en las redes eléctricas y en la infraestructura de gas natural e hidrógeno) y (b) externa (impulsando una aproximación pragmática a las relaciones energéticas y tecnoindustriales con EE. UU. y China);
- incorporar la dimensión militar en la seguridad energética teniendo en cuenta la protección de infraestructuras críticas (gasoductos submarinos, grandes parques eólicos marinos, etc.);
- explorar grandes acuerdos energético-climáticos con distintos socios que combinaran múltiples aspectos clave (energías renovables, gas natural, hidrógeno renovable, minerales críticos, redes energéticas, cadenas de valor de tecnologías limpias, etc.);
- impulsar las interconexiones eléctricas y de hidrógeno mejorando los mecanismos de gobernanza regional.

4.3. Situación actual y perspectivas de las redes energéticas en España

En este apartado analizamos, de forma somera, la situación actual de las redes energéticas (electricidad, gas natural e hidrógeno) en España y los desarrollos previstos para los próximos años. Además, llevamos a cabo una valoración de los principales riesgos de carácter geopolítico relacionados con la configuración de las redes energéticas.

La evolución de las redes energéticas en España en las últimas décadas ha buscado dar respuesta a una situación caracterizada por el relativo aislamiento geográfico del sistema energético peninsular y la extrema dependencia energética de combustibles de origen fósil (principalmente petróleo y sus derivados, y gas natural) que generó consecuencias económicas relevantes tras las crisis globales del petróleo de 1973-74 y 1979-80.

La necesidad de sustituir, en la medida de lo posible, el petróleo y sus derivados[14] dio lugar a una estrategia energética (Plan

[14] Ver una referencia a ese proceso en Jiménez (2006).

Energético Nacional de 1975) basada en el impulso de la penetración del gas natural[15] en la matriz energética, la expansión de la energía nuclear y el uso del carbón para la producción de electricidad (Sudrià, 2006). El Plan Energético Nacional de 1983 incluyó la moratoria nuclear (con un parque operativo de 7800 MW), un enfoque en la reducción del consumo de energía primaria y final, y la preferencia por el gas natural y el carbón (nacional) frente al petróleo en la producción de energía eléctrica. En 1985 se firmó el *Protocolo de intenciones para el desarrollo de la industria del gas en España*. Finalmente, el Plan Energético Nacional de 1991 impulsó de forma definitiva el desarrollo de las infraestructuras de gas natural en España, entre las que destaca el gasoducto del Magreb, que entró operación en 1996.

A finales de los años 90 se impulsaron las leyes de liberalización de los sectores eléctricos y gasista y comenzó el despegue, inicialmente lento, de las energías renovables[16] con la aprobación del Plan de Fomento de las Energías Renovables en 1999. La década de los 2000 se caracterizó por el progresivo crecimiento del sector gasista, por la entrada de ciclos combinados en la combinación de generación de energía eléctrica[17] y por un decidido apoyo a las energías renovables (en especial con la aprobación del Real Decreto 436/2004). Esta apuesta por el crecimiento del gas natural y las energías renovables buscaba alcanzar objetivos estratégicos tan variados como la reducción de la dependencia energética del exterior, el incremento de la diversificación de las fuentes de suministro de gas natural, la mejora de los resultados medioambientales del sector eléctrico o el desarrollo de industria autóctona especializada en las nuevas fuentes de energía renovable.

Las sucesivas olas de planificación de las redes energéticas eléctrica y gasista fueron reflejando esta estrategia de diversificación «gas natural más renovables». En el sector eléctrico, según datos de Redeia, la longitud de la red de transporte, que ya superaba los 29 000 km en 1994 (con más de 38 000 MVA de capacidad de transformación), alcanzó más de 45 000 km y 94 000 MVA

[15] El consumo de gas natural en España comenzó a finales de los años 60 en algunas actividades industriales. En 1969 comenzó a importarse GNL en la planta de Barcelona (*Energía y Sociedad*, s. f.).

[16] Ver un análisis de la evolución histórica del sector eléctrico en España en Costa Campi (2016).

[17] El primer ciclo combinado, el de San Roque (Cádiz), entró en funcionamiento en 2002.

en 2022. En el mismo periodo, la demanda en barras de central aumentó desde 146 TWh hasta 250 TWh (en 2023 cayó hasta los 244 TWh). Por otro lado, en la actualidad las redes de distribución suman en torno a un millón de kilómetros de cables (Futured, s. f.).

De acuerdo con datos de Sedigás, en el sector gasista la longitud total de los gasoductos en España alcanzó más de 15 000 km en 1991 (aproximadamente un tercio de alta presión) y continuó creciendo hasta llegar a más de 80 000 km de gasoductos de distribución y casi 14 000 km de transporte a finales de 2022. La demanda de gas natural aumentó desde unos 25 TWh en 1985 a casi 170 TWh en 2000 y más de 360 TWh en 2022.

En la actualidad, el conjunto de redes energéticas (eléctricas más gasistas) en España está caracterizado por:

- la virtual integración *de facto* con el sistema energético de Portugal (formando los mercados integrados MIBEL y MIBGAS);
- interconexiones físicas limitadas con el resto de los sistemas energéticos vecinos (Francia y Marruecos en electricidad, y Francia, Marruecos y Argelia en gas natural);
- dar soporte a un sistema eléctrico muy diversificado y con una notable penetración de energías renovables que, en 2023, cubrieron más del 50 % de la demanda total de electricidad[18];
- un conjunto de aprovisionamientos de gas muy diversificado, con un peso muy relevante del gas natural licuado y con hasta seis plantas de regasificación y almacenamiento de GNL;
- el exceso de capacidad en el caso del gas natural[19];
- la inexistencia de redes de hidrógeno en España con uso compartido (aunque sí algunas «dedicadas»).

El desarrollo futuro de las redes de electricidad y gas natural en España viene marcado por las directrices de los planes de diez años (TYNDP) elaborados por las asociaciones de operadores de sistemas de transporte ENTSO-E y ENTSO-G, y por las planificaciones vigentes respectivas (aprobadas por el Gobierno

[18] En concreto, las energías renovables tuvieron una cuota de generación del 51 %, con más de 135 TWh. La energía eólica se ubicó en primera posición de la combinación energética con el 24 % y casi 64 TWh mientras que la energía fotovoltaica se colocó en cuarto lugar con un 12 % de cuota del total y unos 37 TWh. Entre ellas se situaron la energía nuclear y los ciclos combinados de gas natural, con cuotas del 20 % y el 17 % respectivamente.

[19] La demanda en 2022 se situó un 20 % por debajo del máximo histórico de unos 450 TWh alcanzado en 2008.

en 2022 para el periodo 2021-2026, en el caso de la electricidad, y en 2008 para el periodo 2008-2016, en el caso del gas natural). Además, estas planificaciones tienen que dar cobertura a los Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima (PNIEC) que deben entregarse periódicamente a la Unión Europea.

La velocidad a la que están cambiando los escenarios energéticos previstos a medio plazo (en especial tras la invasión de Ucrania por parte de Rusia) ha dado lugar al inicio de la tramitación de una nueva planificación eléctrica para el periodo 2025-2030 y a la apertura de un proceso de actualización de la planificación eléctrica para 2021-2026 (sin esperar a la nueva planificación y con el objetivo de facilitar el desarrollo de proyectos de descarbonización de la industria, de producción de hidrógeno verde, de integración de energía renovable y de almacenamiento y conexión de nuevos puntos de consumo, como los centros de datos).

La reciente revisión del PNIEC 2021-2030 muestra cómo están cambiando algunos de los objetivos energéticos[20] para los próximos años a medida que aumenta la presión (en la UE y en todo el planeta) por reducir de manera efectiva las emisiones de GEI y alcanzar otros objetivos energéticos.

Por ejemplo, en el borrador de PNIEC publicado a principios de 2020 (MITECO, 2020) se incluían niveles de potencia instalada eólica, fotovoltaica y almacenamiento (incluyendo bombeo) para 2030 de 50,3 GW, 39,2 GW, 6,8 GW y 12,0 GW respectivamente. Estos valores se incrementaron en 11,7 GW, 37,2 GW y 6,0 GW en el borrador publicado en junio de 2023 (MITECO, 2023).

El PNIEC de enero de 2020 también preveía incrementar la interconexión eléctrica del sistema español para cumplir con los objetivos establecidos en el ámbito de la UE mediante una nueva interconexión con Portugal que permitiría aumentar la capacidad de intercambio hasta 4200 MW (sentido Portugal) y 3500 MW (sentido España) en 2025, y nuevas interconexiones con Francia[21]

[20] El borrador de PNIEC 2021-2030, publicado en junio de 2023, endurece los objetivos energético-climáticos en línea con los planes europeos Fit for 55 y REPowerEU: 32 % de reducción de emisiones de GEI respecto de 1990 (vs. 23 % en el PNIEC de 2020); 48 % de cuota de renovables en el uso final de la energía (vs. 42 %); 44 % de mejora de la eficiencia energética en términos de energía final (vs. 39,5 %); 81 % de cuota de energía renovable en la generación de energía eléctrica (vs. 74 %); y reducción de la dependencia energética hasta el 51 % (vs. 61 %).

[21] En concreto, la conexión submarina entre Aquitania y el País Vasco (cuya construcción se inició en diciembre de 2023); la interconexión entre Aragón y el departamento de Pirineos Atlánticos y la interconexión entre Navarra y el departamento de Landas.

que aumentarían la capacidad de interconexión en ambos sentidos hasta 5000 MW en 2025 y 8000 MW en 2030. Estos objetivos no se modificaron en el nuevo PNIEC, que sí aumenta el objetivo de interconexión hasta el 15 % de la capacidad instalada (vs. 10 % en el anterior plan).

Además, el PNIEC de junio de 2023 incluye objetivos explícitos para el desarrollo del hidrógeno verde (hasta 11 GW de capacidad de electrolisis frente a 4 GW en la Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable en España de 2020), la cuota del hidrógeno entre los combustibles renovables de origen no biológico en el ámbito industrial (74 % del total frente a un 25 % en la hoja de ruta) y el desarrollo del Corredor Ibérico del Hidrógeno (H2MED), que unirá Portugal, España y Francia a través de una red de hidroductos con interconexiones entre Celorico da Beira (Portugal) y Zamora, por un lado, y entre Barcelona y Marsella, por otro. El tramo español se estructura en dos ejes (Cantábrico-Nordeste-Mediterráneo y Oeste-Sur) conformado por las infraestructuras de los distintos «valles de hidrógeno» regionales (el vasco, el aragonés, etc.) que, en muchos casos, serán desarrolladas como proyectos de interés europeo.

Dado este contexto de las redes energéticas en España, ¿cuáles son las principales oportunidades y riesgos a los que se enfrenta el sistema energético español desde el punto de vista geopolítico?

Entre las oportunidades, pueden mencionarse:

- la disponibilidad de energía limpia, el gran potencial de desarrollo de las energías renovables más maduras (en especial la eólica y la fotovoltaica) y su impacto a medio y largo plazo sobre los costes energéticos en el sistema ibérico tanto en la competitividad del país en conjunto como en las empresas intensivas en energía eléctrica en particular;
- la capacidad de desarrollo tecnoindustrial y el potencial posicionamiento competitivo de empresas industriales españolas punteras en múltiples cadenas de valor relacionadas con las tecnologías limpias en diversos sectores (energía, movilidad, industria) tal y como demuestra la gran demanda de financiación de proyectos innovadores bajo los distintos PERTEs (Gobierno de España, 2023) y la participación de empresas españolas en proyectos de interés común;
- el potencial desarrollo de un sector del hidrógeno renovable pujante en la Unión Europea que podría permitir poner en valor muchos de los recursos energéticos de la península, una

parte de los activos de gas natural y la naciente cadena de valor del hidrógeno renovable en España;
- el *momentum* político favorable al incremento de la capacidad de las interconexiones con Francia y Portugal tras la firma de un memorando de entendimiento entre los tres Gobiernos y la Comisión Europea en diciembre de 2023 (European Commission, 2023b) que extiende el alcance de los trabajos del High Level Group on Interconnections for South-West Europe para elaborar planes de acción enfocados a incrementar la capacidad de interconexión eléctrica, desplegar energías renovables *on-* y *off-shore* y otras infraestructuras relacionadas, y desarrollar la infraestructura de hidrógeno, lo que incluye el almacenamiento y la capacidad de electrolisis;
- los potenciales beneficios futuros de desarrollar nuevas conexiones energéticas (o fortalecer las actuales) con el norte de África, lo que incluye la puesta en valor de los recursos solares y de la potencial capacidad de producir hidrógeno renovable de bajo coste;
- la existencia de un conjunto de infraestructuras de electricidad, gas natural y GNL plenamente operativas que podrían, bajo determinadas circunstancias en el mercado global y europeo, permitir capitalizar situaciones de desequilibrios entre oferta y demanda de energía eléctrica y gas natural entre distintas regiones en el planeta, y entre España y el resto del continente europeo;
- la ubicación geográfica, que genera ventajas competitivas respecto de otros países europeos en la relación energética con territorios como el norte de África o la cuenca atlántica en general.

Los riesgos específicos[22] y de carácter geopolítico relacionados con las infraestructuras y las redes energéticas en España (y en la península ibérica en general) principalmente se refieren a:

- la posibilidad de que se ralenticen o no se materialicen las conexiones con Francia, lo que disminuiría la capacidad de poner en valor los activos energéticos de la península en momentos de escasez de energía en Europa continental y mantendría el relativo aislamiento eléctrico del sistema peninsular;

[22] No se evalúan aquí otros riesgos sistémicos, mencionado en el apartado 4.1, como terrorismo contra los activos, ciberataques, riesgos asociados a materias primas críticas y tierras raras, aceptación social de infraestructuras, insuficiente coordinación con otros países, etc.

- el retraso tanto en el desarrollo de una regulación favorable para la integración efectiva de mecanismos de flexibilidad en el sector eléctrico como en la adaptación de infraestructuras de gas natural;
- la potencial generación de activos varados (en especial en las redes de gas natural) si se mantiene a la baja la demanda de gas natural y no se materializan otras alternativas que puedan incrementar el valor de estos activos (crecimiento de la cadena de valor del biogás, *blending* de hidrógeno en las redes de gas natural, etc.);
- la potencial existencia de activos varados en la cadena de valor del hidrógeno si se desarrollan infraestructuras y la demanda de hidrógeno no crece lo suficiente (por ejemplo, porque no se produzcan los desarrollos tecnológicos y las reducciones de costes esperadas en la propia cadena de valor del hidrógeno o porque las alternativas energéticas que compiten con el hidrógeno en los distintos usos finales —electricidad, biocombustibles de tercera generación, etc.— continúen materializando avances tecnológicos y de costes);
- la excesiva dependencia de las importaciones de GNL en caso de conflicto con Argelia.

5. Conclusiones

Las redes energéticas de un país (y las infraestructuras en general) son activos esenciales para alcanzar objetivos clave de las sociedades modernas, como garantizar la competitividad de la economía y el bienestar de la sociedad, avanzar en la descarbonización y reforzar su seguridad.

Disponer de redes energéticas robustas, malladas, integradas y que incluyan las tecnologías digitales más avanzadas favorece la creación de ventajas competitivas para las empresas y la economía así como una mejor posición geopolítica. Por su estrecha relación con todas las dimensiones de la geopolítica (geográfica, política, económica, militar, tecnológica, cultural) son elementos centrales y críticos de las estrategias globales de los países y las regiones.

En la actualidad, las redes energéticas afrontan su mayor transformación desde la Segunda Guerra Mundial, cuando comenzaron a desarrollarse las redes de hidrocarburos a escala global. Lo hacen, además, en un contexto global complejo con profundos procesos de transición en marcha (transición energéti-

co-medioambiental, nuevas tecnologías limpias, digitalización, redefinición de la globalización, reconfiguración de la geopolítica de la energía) y retos globales de primera magnitud (amenaza climática y necesidad de alcanzar acuerdos globales, conflictos bélicos en marcha o potenciales —Líbano, Irán, Sahel, Pakistán, Taiwán—, polarización ideológica y por bloques, corrientes de desglobalización y proteccionismo, «carrera verde» entre regiones, etc.).

El cambio de las redes energéticas debido al avance del proceso de descarbonización hacia redes inteligentes, digitalizadas, interconectadas y que integren todos los recursos energéticos y fuentes de flexibilidad plantea importantes ventajas en términos geoestratégicos y contribuirá a encontrar una solución al llamado «trilema energético». Entre estas ventajas pueden citarse el aprovechamiento y la integración de recursos renovables domésticos en el sistema energético, una mayor eficiencia, la diversificación de las fuentes de aprovisionamiento energético, la reducción de la dependencia exterior de combustibles fósiles, una mayor resiliencia de los sistemas energéticos, un mayor control sobre infraestructuras críticas para la economía y una base para el desarrollo de tejido industrial especializado en tecnologías y soluciones limpias.

Sin embargo, la transición energética también implica nuevos desafíos geoestratégicos. Por un lado, el avance de la digitalización conlleva riesgos crecientes de ciberseguridad, tanto en lo referente a la red energética como al usuario (dispositivos de consumo, transporte, etc.). Por otro lado, la creciente dependencia de la UE (y de otras regiones del mundo) de la importación de materias primas y de minerales críticos, muchas de cuyas cadenas de valor están bajo control de China, plantea desafíos geopolíticos de primer orden y está dando lugar a una reconfiguración de las reglas y de las relaciones de la geopolítica de la energía.

La cuestión de la ciberseguridad y el terrorismo enfocado en activos físicos lleva los riesgos geopolíticos desde la gran escala (cortes de suministro desde países exportadores de petróleo y gas natural, ataques a grandes infraestructuras de transporte entre países) a un ámbito más local (regiones, países) y a la pequeña escala (el nivel de la distribución y las *smart grids*, de las empresas, del consumidor).

Además, desde hace años se observa una tendencia al desarrollo de grandes *hubs* energéticos de carácter regional o continental

(Norteamérica, China y Asia, la Unión Europea). La estrategia china de desarrollar grandes redes energéticas a escala continental y de generar posiciones de control estratégico en sistemas energéticos en todo el planeta (a través de iniciativas como la *Belt & Road Initiative* o el plan *Global Energy Interconnection* de China State Grid) pone de manifiesto la relevancia económica, tecnológica, comercial, industrial, política, cultural e incluso militar de controlar grandes redes energéticas e imponer estándares técnicos, operativos, tecnológicos, digitales y de comunicaciones.

Por tanto, los distintos riesgos geopolíticos generan tensión entre la tendencia a la interconexión de los sistemas energéticos y a la adopción de posiciones hegemónicas (a través del control de las redes energéticas y digitales) en grandes sistemas energéticos, y las tendencias a desandar una parte del camino de la globalización y a reconfigurar las cadenas de suministro globales y las relaciones entre países, regiones y bloques.

Esta cuestión es muy relevante para la UE, que deberá decidir si continúa expandiendo sus redes energéticas hacia territorios vecinos como el norte de África o los territorios de Eurasia más allá de las fronteras tradicionales de «Europa» en el sudeste del continente en su búsqueda no solo de beneficios en términos energéticos, sino también de un posicionamiento industrial y tecnológico que dé respuesta a la estrategia china.

La UE debe continuar trabajando para diseñar e implementar estrategias integrales para las redes energéticas que permitan afrontar los múltiples retos mencionados en este capítulo, para aprovechar las oportunidades económicas y tecnoindustriales asociadas y para mitigar y gestionar muchos de los riesgos asociados a cuestiones como: la necesidad de realizar cuantiosas inversiones en las redes (y en actividades de I+D+i) bajo una planificación eficiente y coordinada para garantizar el éxito de la transición hacia una economía con cero emisiones netas; el cambio de la matriz energética y las decisiones estratégicas sobre nuevas fuentes de energía y nuevos vectores energéticos como los gases verdes (biogás, biometano, hidrógeno verde) evitando la aparición de activos varados; la captura de los beneficios de avanzar en la interconexión intra UE (y con otras regiones) y de la integración de redes de distintos recursos energéticos; la garantía de la seguridad física y digital de las infraestructuras; el fortalecimiento de los mecanismos de gobernanza y cooperación en la UE para adoptar decisiones eficientes desde el punto de vista geopolítico; la facilitación, mediante un desarrollo y adap-

tación adecuados de las redes energéticas, del posicionamiento y liderazgo de la industria europea de tecnologías limpias en la «carrera verde» con EE. UU. y China; y la búsqueda de grandes acuerdos energético-climáticos con socios adecuados que abarquen múltiples aspectos relacionados con las energías renovables, el gas natural, el hidrógeno renovable, las materias primas y minerales críticos, las interconexiones energéticas con terceros sistemas o las cadenas de valor de tecnologías limpias.

Por último, en el caso de España, revisado de manera breve en este documento, cabe señalar que dispone de un conjunto de redes energéticas robusto y avanzado (como en el área de la digitalización y la automatización de la red eléctrica), aunque su sistema energético (con un nivel relativamente elevado de diversificación) está expuesto a riesgos debido a dos grandes fuentes de vulnerabilidad: las (aún) limitadas interconexiones con el resto del continente europeo y la gran dependencia exterior de combustibles fósiles. Para hacer frente a estas debilidades, en los próximos años será importante hacer realidad los distintos proyectos de interconexión que se están planteando (especialmente en electricidad e hidrógeno) en el marco de los proyectos de interés común y capitalizar la oportunidad que supone el *Memorando de Entendimiento* firmado en diciembre de 2023 entre los Gobiernos de Francia, Portugal y España, y la Comisión Europea. Por otro lado, resulta esencial garantizar un marco regulatorio adecuado para la expansión de las redes energéticas y una planificación coordinada y flexible que permita extraer el valor de los recursos energéticos renovables de los que dispone la península ibérica. Definir una estrategia de cooperación energética de amplio calado con el norte de África y en la cuenca atlántica también puede generar réditos económicos y geopolíticos importantes para España en el medio y largo plazo.

Bibliografía

ACER. (2022). *ACER's Final Assessment of the EU Wholesale Electricity Market Design. April 2022* [en línea]. ACER. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/Final_Assessment_EU_Wholesale_Electricity_Market_Design.pdf

André, C., Costa, H., Demmou, L. y Franco, G. (2023). Rising energy prices and productivity: short-run pain, long-term gain? [en línea]. *OECD Economics Department Working Papers*,

175. París, OECD Publishing [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1787/2ce493f0-en

Andrews-Speed, P. (2023). Critical minerals for the low-carbon energy transition: why China matters [en línea]. *OIES Forum*, 137, 10-13. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2023/08/OEF-137.pdf

Associated Press. (2023). The bridge to Crimea is crucial to Russia's war effort in Ukraine and to asserting Moscow's control [en línea]. *Associated Press*. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://apnews.com/article/russia-crimea-ukraine-kerch-bridge-c3759176ab015796a1e21ca82f19e0c9

Aranzadi, C. (2023). Introducción. En *Energía y Geoestrategia 2023* [en línea]. Madrid, Instituto Español de Estudios Estratégicos, Ministerio de Defensa. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/ENERGEO23/ENERGEO2023.pdf

Augustine, D., Toussaint-Comeau, M., Wheat, C. y Okoro, E. (2018). Cultural Affinity, Institution Stability, and Geographic Distance in Cross-Border Peer-to-Peer Micro-Lending [en línea]. *Journal of Business & Economic Policy*, 5 (4). [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.30845/jbep.v5n4p4

Ayerbe, A. I. (2020). *La ciberseguridad en el sector energético* [en línea]. ARI, 3, Real Instituto Elcano. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://media.realinstitutoelcano.org/wp-content/uploads/2021/11/ari3-2020-ayerbe-la-ciberseguridad-en-el-sector-energetico.pdf

Banco Mundial (s. f.). *Africa Electricity Grids Explorer* [en línea]. Banco Mundial. [Consulta: 12 de diciembre de 2023]. Disponible en: https://africagrid.energydata.info/

Barteková, E. y Ziesemer, T. H. W. (2019) The impact of electricity prices on foreign direct investment: evidence from the European Union [en línea]. *Applied Economics*, 51 (11), pp. 1183-1198. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1524983

BloombergNEF. (2023). *Global Net Zero Will Require $21 Trillion Investment In Power Grids*. [en línea]. BNEF. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://about.bnef.com/blog/global-net-zero-will-require-21-trillion-investment-in-power-grids

Campos, A. & Fernandes, C. P. (2017). The Geopolitics of Energy. En C. P. Fernandes & T. Ferreira Rodrigues (eds.), *Geopolitics of Energy and Energy Security* [en línea], IDN Cadernos, n.º 24. Lisboa, Instituto da Defesa Nacional. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://run.unl.pt/bitstream/10362/41897/1/cf_ac_tfr_geopoliticsofenergy_2017.pdf

Cassetta, E., Nava, C. R. y Zoia, M. G. (2022). A three-step procedure to investigate the convergence of electricity and natural gas prices in the European Union [en línea]. *Energy Economics*, 105, 105697. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105697

Chiacchio, F., De Santis, R. A., Gunnella, V. y Lebastard, L. (2023). *How have higher energy prices affected industrial production and imports?* [en línea]. ECB Economic Bulletin, 1. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/focus/2023/html/ecb.ebbox202301_02~8d6f1214ae.en.html

Chiappa, C. (2023). Estonia says damage to Baltic Sea pipeline, cables is all linked [en línea]. *Politico*. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.politico.eu/article/baltic-sea-balticconnector-pipeline-damage-estonia-sweden-finland-kaja-kallas

Cornell, P. (2019). Energy Governance and China's Bid for Global Grid Integration [en línea]. *EnergySource Blog*. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.atlanticcouncil.org/blogs/energysource/energy-governance-and-china-s-bid-for-global-grid-integration/

Costa Campi, M. T. (2016). Evolución del sistema eléctrico español (1975-2015) [en línea]. *Revista ICE*, 889-890, pp. 139-156. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/126604/1/666417.pdf

Day, C. J. (2022) The re-emergence of transport costs as an influence on industrial location within a low carbon economy [en línea]. *Australasian Transport Research Forum 2022 Proceedings*, 28-30 September, Adelaide, Australia. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://australasiantransportresearchforum.org.au/wp-content/uploads/2022/05/ATRF2022_Resubmission_47.pdf

Dimopoulos, G., Heussaff, C. y Zachmann, G. (2023). *The massive value of European Union cross-border electricity transmission* [en línea]. Bruegel. [Consulta: 2024]. Disponible en:

https://www.bruegel.org/analysis/massive-value-european-union-cross-border-electricity-transmission

Energía y Sociedad. (s. f.). *Breve historia del gas natural en España* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/1-1-breve-historia-del-gas-natural-en-espana/

European Commission.

–. (2018). *Explaining the European Union's approach to connecting Europe and Asia* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_18_5804

–. (2020a). *Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration. COM/2020/299 final* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2020:299:FIN

–. (2020b). *EU Security Union Strategy: connecting the dots in a new security ecosystem* [en línea] [nota de prensa]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1379

–. (2020c). *2020 report on the State of the Energy Union pursuant to Regulation (EU) 2018/1999 on Governance of the Energy Union and Climate Action - Annex 1. COM(2020) 950 Final* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A950%3AFIN

–. (2022a). *Commission staff working document implementing the REPower EU Action Plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets accompanying the document Communication From The Commission To The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions REPowerEU Plan. SWD/2022/230 final* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=SWD%3A2022%3A230%3AFIN

–. (2022b). *Questions and Answers: The EU Policy on Cyber Defence* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_22_6643

–. (2023a). *Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And So-*

cial Committee And The Committee Of The Regions Grids, the missing link - An EU Action Plan for Grids. COM/2023/757 final [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52023DC0757

–. (2023b). *Memorandum of Understanding on a new, extended scope of the High Level Group on Interconnections for South-West Europe* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-12/Signed_MoU_HLG%20SWE.pdf

European Council. (2023). *Infographic - Net-zero industry act: a benchmark for the manufacturing capacity of strategic net-zero technology products* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/net-zero-industry-act/

European Hydrogen Backbone. (2023). *Implementation Roadmap — Cross-Border Projects and Costs Update. November 2023* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://ehb.eu/files/downloads/EHB-2023-20-Nov-FINAL-design.pdf

Fang, S., Myers, A., Loch-Temzelides, T. P. y Lo Prete, C. (2023). *Electricity grids and geopolitics: A game-theoretic analysis of the synchronization of the Baltic States' electricity networks with Continental Europe* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4644564

Farrell, A. E., Zerriffi, H. y Dowlatabadi, H. (2004). Energy Infrastructure and Security. *Annual Review of Environment and Resources* [en línea], 29 (1), pp. 421-469. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.energy.29.062403.102238

Fernández, J. y Larrea, M. (2023). *Estrategias regionales de transición energética y descarbonización. Revisión de los casos de Grand Est/Grand Reims, Escocia, Renania del Norte-Westfalia y «regiones energéticas» en los Países Bajos* [en línea]. Cuadernos Orkestra, 07. San Sebastián, Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.18543/JYCM4230

Fernández, J. y Menéndez, J. (2019). *Las redes inteligentes y el papel del distribuidor de energía eléctrica* [en línea]. Cuadernos Orkestra, 54. San Sebastián, Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.orkestra.deusto.es/es/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/1716-redes-inteligentes-papel-distribuidor-energia-electrica

(2023). *Desarrollo del sistema de hidrógeno en el País Vasco en el medio plazo* [en línea]. Cuadernos Orkestra, 03. San Sebastián, Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.orkestra.deusto.es/es/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/2572-230021-desarrollo-sistema-hidrogeno-pais-vasco-medio-plazo-2

FSR. (2023). *Security of Supply: Gas* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://fsr.eui.eu/security-of-supply-gas/

Futured. (s. f.). 8 cifras clave de las redes eléctricas en España [en línea]. *Futured.* [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.futured.es/las-redes-electricas-espana/

Gas Infrastructure Europe. (2023). *System Development Map 2021-2022* [en línea]. GIE [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.gie.eu/publications/maps/system-development-map/

Giuli, M. y Oberthür, S. (2023). Assessing the EU's Evolving Position in Energy Geopolitics under Decarbonisation [en línea]. *The International Spectator*, 58 (3), pp. 152-170. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1080/03932729.2023.2199648

Gobierno de España. (2023). *Transición Ecológica concede 635 millones a más de un centenar de proyectos en toda España para impulsar la transición energética* [en línea]. Gobierno de España. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://planderecuperacion.gob.es/noticias/transicion-ecologica-concede-635-millones-mas-100-proyectos-toda-Espana-impulsar-transicion-energetica-perte-erha-prtr

GRS. (2023). *Situation of the nuclear power plants in France - how has the situation evolved in our neighbouring country since the summer?* [en línea] GRS [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.grs.de/en/news/situation-nuclear-power-plants-france-how-has-situation-evolved-our-neighbouring-country

Guler, B., Çelebi, E. y Nathwani, J. (2018). A 'Regional Energy Hub' for achieving a low-carbon energy transition [en línea]. *Energy Policy*, 113, pp. 376-385. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.044

Henderson, J. y Meidan, M. (2023). Introduction - Rebalancing the Energy Trilemma. En *Key Themes for the Global Energy Economy in 2023* [en línea]. OIES Paper SP 21, Oxford Institute of Energy Studies. [Consulta: 2024]. Disponible en:

https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2023/01/2023-Key-Themes-Global-Energy-Economy-in-2023-ET21.pdf

HM Government. (2018). *Clean Growth. The UK Carbon Capture Usage and Storage deployment pathway. An Action Plan* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5bfd760bed915d118adbb940/beis-ccus-action-plan.pdf

Hussein, M. (2021). Mapping the world's oil and gas pipelines [en línea]. *Al Jazeera* [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.aljazeera.com/news/2021/12/16/mapping-world-oil-gas-pipelines-interactive

International Energy Agency.

–. (2016). *Large-Scale Electricity Interconnection: Technology and Prospects for Cross-regional Power Networks*. [en línea] IEA [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.iea.org/reports/large-scale-electricity-interconnection

–. (2021). *Energy Security and the Risk of Disorderly Change* [en línea]. IEA [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021/energy-security-and-the-risk-of-disorderly-change

–. (2023a). *Electricity Grids and Secure Energy Transitions* [en línea]. IEA [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions

–. (2023b). *CO_2 Transport and Storage. Tracking Clean Energy Progress 2023* [en línea]. IEA. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/co2-transport-and-storage

IRENA. (2019). *A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation* [en línea]. IRENA. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.irena.org/publications/2019/Jan/A-New-World-The-Geopolitics-of-the-Energy-Transformation

Isaac, A. y Lawson, A. (2023). Sellafield nuclear site hacked by groups linked to Russia and China [en línea]. *The Guardian.* [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.theguardian.com/business/2023/dec/04/sellafield-nuclear-site-hacked-groups-russia-china

Jensen, J. T. (2004). The Development of a Global LNG Market Is it Likely? If so, When? [en línea]. *Oxford Institute for Energy Studies*, NG 5. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2010/11/

NG5-TheDevelopmentofAGlobalLNGMarketIsItLikelyIfSoWhen-JamesJensen-2004.pdf

Jiménez, J. C. (2006). Una década de profundas transformaciones en el sector energético. En J. L. García Delgado y Juan Carlos Jiménez (dir.), *Energía: del monopolio al mercado. CNE, diez años en perspectiva*. Cizur Menor (Navarra), Editorial Aranzadi. ISBN: 84-470-2540-3.

Jørgensen, P. S. *et al.* (2023). Evolution of the polycrisis: Anthropocene traps that challenge global sustainability [en línea]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 379, 20220261. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0261

Kharbanda, V. J. (2022). Strategies to Promote Regional Power Grid Connectivity and CBET in SSWA [en línea]. *ESCAP Development Papers*, 01. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.unescap.org/kp/2022/strategies-promote-regional-power-grid-connectivity-and-cross-border-electricity-trade-cbet

Koyama, K. (2019). *Energy security and energy geopolitics* [en línea]. Japan, Institute of Energy Economics. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://eneken.ieej.or.jp/data/8373.pdf

Kuzemko, C., Blondeel, M., Dupont, C. y Brisbois, M. C. (2022). Russia's war on Ukraine, European energy policy responses & implications for sustainable transformations [en línea]. *Energy Research & Social Science*, 93, 102842. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102842

Kuznetsov, S. (2022). Blast on Russia bridge to Crimea threatens Moscow supply route [en línea]. *Politico*. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.politico.eu/article/russia-kerch-bridge-crimea-partially-destroyed-explosion/

Lawson, A. (2022). £18bn project to link UK to huge wind and solar farm in Sahara delayed by a year [en línea]. *The Guardian*. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.theguardian.com/business/2022/dec/04/government-chaos-delays-uk-sahara-energy-link

Liu, H. (2023). Pipeline. *Encyclopedia Britannica* [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.britannica.com/technology/pipeline-technology

López-Nicolás, A. (2021). *Energy Communities in EU legislation. Jornada «CE: participación ciudadana en la transición*

energética. Presentación del Ecosistema de apoyo, hoja de ruta, a las comunidades energéticas». Crevillent, 16 de septiembre 2021 [en línea]. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.idae.es/sites/default/files/eventos/Jornada%20Comunidades%20Energ%C3%A9ticas.%2016sep2021/1-Ponencia-Europea-CE_AntonioLopezNicolas.pdf

LSE. (2022). *What are stranded assets?* [en línea]. LSE. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-are-stranded-assets/

Martin, K. (2018). *The Big Inch: Fueling America's WWII War Effort* [en línea]. Taking Measure. National Institute of Standards and Technology (NIST), United States Department of Commerce. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.nist.gov/blogs/taking-measure/big-inch-fueling-americas-wwii-war-effort

McBride, J., Berman, N. y Chatzky, A. (2023). *China's Massive Belt and Road Initiative* [en línea]. Council of Foreign Relations. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.cfr.org/backgrounder/chinas-massive-belt-and-road-initiative

Meidan, M. (2023). How China thinks about energy security under the energy transition [en línea]. *OIES Forum*, 137, pp. 6-10. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2023/08/OEF-137.pdf

Mengher, V. A. (2020). *The Siting of Energy Intensive Industry in the Context of the Energy Transition* [en línea]. Master thesis submitted to Delft University of Technology. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Abc99ac9b-9e45-4bad-8844-e3f957e92ab9

MITECO.

–. (2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Enero 2020* [en línea]. MITECO. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf

–. (2023). *Borrador de Actualización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Junio 2023* [en línea]. MITECO. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://commission.europa.eu/system/files/2023-06/SPAIN%20-%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021-2030.pdf

Murray, J-M. (2023). *The 2022 French nuclear outages: Lessons for nuclear energy in Europe* [en línea]. CATF. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.catf.us/2023/07/2022-french-nuclear-outages-lessons-nuclear-energy-europe/

O'Malley, M. *et al*. (2016). *Energy Systems Integration: Defining and Describing the Value Proposition* [en línea]. International Institute for Energy Systems Integration. Technical Report NREL/TP-5D00-66616. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66616.pdf

O'Malley, I., McDermott, J. y St. John, A. (2023). Europe, US, China: Where installed the most wind and solar power in 2023? [en línea]. *Euronews*. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.euronews.com/green/2023/12/29/europe-us-china-where-installed-the-most-wind-and-solar-power-in-2023

O'Neill, P. H. (2022). Russian hackers tried to bring down Ukraine's power grid to help the invasión [en línea]. *MIT Technology Review*. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.technologyreview.com/2022/04/12/1049586/russian-hackers-tried-to-bring-down-ukraines-power-grid-to-help-the-invasion/

Paltsev, S. (2016). The Complicated Geopolitics of Renewable Energy [en línea]. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 72 (6), pp. 390-395, [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1080/00963402.2016.1240476

Parlamento Europeo. (2023). *El mercado interior de la energía* [en línea]. Parlamento Europeo. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/45/el-mercado-interior-de-la-energia

Pepe, J. M. (2023). *Geopolitics and energy security in Europe: How do we move forward?* [en línea] Friedrich-Ebert-Stiftung. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://library.fes.de/pdf-files/bueros/bruessel/19953.pdf

Rau, L. (2019). *On Viscous Grounds: Planning for Friction across the Trans-Alaska Pipeline, 1968-1981* [en línea]. MIT, Master's Thesis. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/145010

Scholten, D. y Bosman, R. (2016). The geopolitics of renewables; exploring the political implications of renewable energy systems [en línea]. *Technological Forecasting and Social Change*, 103, pp. 273-283. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.10.014

Science Direct. (s. f.). *Subadditivity* [en línea]. Science Direct. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/subadditivity

SCIO. (2023). *The Belt and Road Initiative: A Key Pillar of the Global Community of Shared Future* [en línea]. SCIO [Consulta: 2024]. Disponible en: http://www.scio.gov.cn/zfbps/zfbps_2279/202310/t20231010_773734.html

Smil, V. (2016). *Energy Transitions: Global and National Perspectives, 2nd Edition* [en línea]. Bloombsbury Publishing. ISBN: 9781440853241. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.bloomsbury.com/us/energy-transitions-9781440853241/

–. (2020). Energy Transitions: Fundamentals in Six Points [en línea]. *Papeles de Energía*, 8. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.funcas.es/wp-content/uploads/Migracion/Articulos/FUNCAS_PE/009art03.pdf

Sudrià, C. (2006). Un bosquejo histórico de la energía en la industrialización de España. En J. L. García Delgado y Juan Carlos Jiménez (dir.), *Energía: del monopolio al mercado. CNE, diez años en perspectiva*. Cizur Menor (Navarra), Editorial Aranzadi. ISBN: 84-470-2540-3.

SunCable (s. f.). *Our projects* [en línea]. SunCable. [Consulta: 20/12/2023]. Disponible en: https://www.suncable.energy/our-projects

Vakulchuk, R., Overland, I. y Scholten, D. (2020). Renewable energy and geopolitics: A review [en línea]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 122, 109547. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109547

Vasquez, C. (2022). How the Colonial pipeline hack galvanized a nation at risk [en línea]. *E&E News by Politico*. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.eenews.net/articles/how-the-colonial-pipeline-hack-galvanized-a-nation-at-risk/

Westphal, K., Pastukhova, M., y Pepe, J. M. (2022). Geopolitics of electricity: grids, space and (political) power [en línea]. *SWP Research Paper*, 6. Berlín. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.18449/2022RP06

World Bank Group. (2019). *Infrastructure Connectivity* [en línea]. WBG [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.oecd.org/g20/summits/osaka/G20-DWG-Background-Paper-Infrastructure-Connectivity.pdf

–. (2023). *State and Trends of Carbon Pricing 2023* [en línea]. WBG. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://openknowledge.worldbank.org/bitstreams/bdd449bb-c298-4eb7-a794-c80bfe209f4a/download

World Economic Forum. (2022). *The 200-year history of mankind's energy transitions* [en línea]. World Economic Forum [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.weforum.org/agenda/2022/04/visualizing-the-history-of-energy-transitions/

Yugo, M. y Soler, A. (2019). A look into the role of e-fuels in the transport system in Europe (2030–2050) [en línea]. *Concawe Review*, 28 (1). [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/E-fuels-article.pdf

Zachmann, G. (2023). *The great 2022 European energy crisis - what actually happened and how did Europe cope?* [en línea]. Bruegel. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://bruegel-staging.sbx.so/newsletter/great-2022-european-energy-crisis-what-actually-happened-and-how-did-europe-cope-0