

LA DEPENDENCIA EUROPEA DEL GAS NATURAL RUSO, LOS RETOS ECONÓMICOS Y
GEOPOLÍTICOS PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DEL CONTINENTE.

DANIEL ALBERTO RODRIGUEZ SANCHEZ
JUAN PABLO CASTRO VILLAMIL

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2024

LA DEPENDENCIA EUROPEA DEL GAS NATURAL RUSO, LOS RETOS ECONÓMICOS
Y GEOPOLÍTICOS PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DEL CONTINENTE.

DANIEL ALBERTO RODRIGUEZ SANCHEZ
JUAN PABLO CASTRO VILLAMIL

PROYECTO DE GRADO (MONOGRAFÍA) PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO

Director:
JOHN MONZAIDE ALVAREZ CELY

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.

2024

Nota de Aceptación:

El trabajo de grado, titulado “**LA DEPENDENCIA EUROPEA DEL GAS NATURAL RUSO, LOS RETOS ECONÓMICOS Y GEOPOLÍTICOS PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DEL CONTINENTE.**” elaborado y presentado por los estudiantes **DANIEL ALBERTO RODRIGUEZ SANCHEZ & JUAN PABLO CASTRO VILLAMIL**, como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecatrónico, fue aprobado por el Jurado Calificador

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. (Sede 170) Fecha de 2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme la sabiduría, fuerza y entendimiento, a mi amada familia, mis padres, hermanas por su apoyo incondicional y sacrificios, su ejemplo de tenacidad y dedicación ha sido mi mayor inspiración. Este logro no habría sido posible sin su amor y constante aliento, como muestra de mi profunda gratitud por todo lo que han hecho por mí. Gracias por ser mi motivación y por creer en mí en cada paso del camino. A mi futura esposa Natalia Bolívar cuyo amor, paciencia y constante apoyo han sido mi mayor fortaleza. Tu presencia en mi vida ha sido un faro de esperanza y motivación, inspirándome a seguir cultivando mis metas con determinación y entrega, este un testimonio de nuestro compromiso mutuo de crecer juntos en cada faceta de la vida. Gracias por ser mi compañera, confidente y mi mayor fuente de alegría. Espero que este trabajo sea un reflejo de nuestro amor y del futuro brillante que nos espera juntos. A mis amigos Lunita, Cristian y Jonathan, quienes han estado allí, brindándome ánimo y comprensión en cada etapa de este camino. A mis profesores, por su guía experta, paciencia y sabiduría que han enriquecido mi aprendizaje. Agradezco a todos aquellos que creyeron en mí, su fe me impulsó a superar obstáculos y a alcanzar este logro. Este trabajo es el resultado de la dedicación, esfuerzo y aprendizaje de muchos, y por ello, va dedicado a cada uno de ustedes. Gracias por formar parte de este importante momento en mi vida académica.

DANIEL ALBERTO RODRIGUEZ SANCHEZ

Dedico este proyecto con mi alma a Dios, quien ha sido la fuente de mi fortaleza y sabiduría a lo largo de cada etapa de mi vida. A mi amada madre, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido la fuerza que me ha permitido avanzar en los momentos más desafiantes. A mi padre, por su amor inquebrantable y por ser uno de mis principales pilares de apoyo y motivación. A mi hermano, por sus risas y palabras de aliento, que han sido un consuelo para mi espíritu en los tiempos difíciles. Agradezco a cada uno de ustedes por ser mi familia y por jugar un papel esencial en mi camino hacia el éxito. Este logro es tanto mío como de ustedes. Gracias.

JUAN PABLO CASTRO VILLAMIL

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Fundación Universitaria Agraria de Colombia por brindarnos la oportunidad de crecer académicamente y formar parte de esta significativa etapa de nuestras vidas. En particular, agradecemos a la Facultad de Ingeniería Mecatrónica por su apoyo constante a nuestro desarrollo profesional desde el inicio.

Agradecemos a los docentes de la facultad por su dedicación y esfuerzo en enseñarnos y guiarnos en nuestro proceso de formación en ingeniería. La valiosa instrucción y la experiencia práctica que nos proporcionaron han sido esenciales para nuestro crecimiento profesional.

Deseamos manifestar nuestra profunda gratitud a nuestro asesor de monografía, John Monzaide Álvarez Cely, por su constante orientación y apoyo durante todo el desarrollo de nuestra tesis. Gracias a su experiencia, visión y confianza en nosotros, hemos logrado superar desafíos y completar este importante proyecto.

También agradecemos a nuestros compañeros de carrera, quienes nos brindaron apoyo y ayuda cuando lo necesitábamos; su colaboración fue crucial para nuestro desarrollo profesional.

Finalmente, queremos hacer un reconocimiento especial a nuestras familias, quienes han sido un pilar fundamental en cada etapa de nuestras vidas y carreras. Su amor incondicional y apoyo constante han sido la motivación que nos ha permitido perseverar y alcanzar nuestras metas. Sin ellos, este logro no habría sido posible, y por ello les estaremos eternamente agradecidos. Gracias por ser una fuente constante de amor, fuerza y esperanza. Los queremos profundamente.

RESUMEN

El presente trabajo evalúa la tecnología basada en energía renovable para que Europa reduzca su dependencia del gas natural ruso. En el contexto actual, Europa enfrenta una crisis energética significativa debido a su alta dependencia del gas ruso, lo que ha generado inestabilidad y vulnerabilidad frente a las tensiones geopolíticas. Históricamente, Europa ha dependido del gas ruso por su abundancia y proximidad. Sin embargo, las relaciones han sido tensas, especialmente tras eventos como la “anexión de Crimea” y las sanciones resultantes, exaltando la crisis energética.

Ante esta situación, se hace un análisis detallado de cómo la dependencia del gas natural ruso impacta la seguridad energética europea y sus implicaciones socioeconómicas, junto con el análisis del impacto de eventos geopolíticos recientes. Se consideran varias tecnologías de energía renovable, como la solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa, con enfoque en políticas y proyectos específicos en países clave de Europa, buscando reducir la dependencia del gas natural e implementar energías renovables. La transición a energías renovables se ve como un impacto socioeconómico, estimulando la creación de empleo en el sector de energías limpias y evaluando los beneficios, desafíos económicos y su impacto en el empleo y el crecimiento económico. Los acuerdos internacionales, como el Acuerdo de París y el Protocolo de Tokio, desempeñan un papel crucial en la promoción de energías limpias y la reducción de emisiones de carbono, subrayando la importancia de la colaboración global la cual discute los beneficios ambientales de reducir la dependencia de combustibles fósiles y aumentar el uso de energías renovables.

Finalmente, la monografía ofrece recomendaciones para acelerar la transición hacia energías renovables en Europa, sugiriendo incentivos gubernamentales, equipos para implementar y una mayor colaboración internacional.

Palabras clave: Acuerdo de París, Protocolo de Tokio, beneficios ambientales, sostenibilidad, cambio climático, inestabilidad, tensiones geopolíticas, seguridad energética, impacto socioeconómico.

ABSTRACT

This work assesses renewable energy-based technology for Europe to reduce its dependence on Russian natural gas. In the current context, Europe faces a significant energy crisis due to its high dependence on Russian gas, which has generated instability and vulnerability to geopolitical tensions. Historically, Europe has depended on Russian gas due to its abundance and proximity. However, relations have been strained, especially following events such as the “annexation of Crimea” and the resulting sanctions, heightening the energy crisis.

Given this situation, a detailed analysis is made of how the dependence on Russian natural gas impacts European energy security and its socio-economic implications, together with the analysis of the impact of recent geopolitical events. Various renewable energy technologies, such as solar, wind, hydroelectric and biomass, are considered, with a focus on specific policies and projects in key European countries, seeking to reduce dependence on natural gas and implement renewable energy. The transition to renewable energy is seen as a socio-economic impact, stimulating job creation in the clean energy sector, and assessing the economic benefits, challenges and their impact on employment and economic growth. International agreements, such as the Paris Agreement and the Tokyo Protocol, play a crucial role in promoting clean energy and reducing carbon emissions, underlining the importance of global collaboration which discusses the environmental benefits of reducing dependence on fossil fuels and increasing the use of renewable energy.

Finally, the monograph offers recommendations to accelerate the transition to renewable energy in Europe, suggesting government incentives, implementation teams and further international collaboration.

Keywords: Paris Agreement, Tokyo Protocol, environmental benefits, sustainability, climate change, instability, geopolitical tensions, energy security, socioeconomic impact.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	13
2. PROBLEMA	15
2.1. Definición del Problema.	15
2.2. Pregunta y/o afirmación de la Investigación.	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. OBJETIVOS	21
4.1. Objetivo General	21
4.2. Objetivos Específicos	21
5. ALCANCES Y LIMITACIONES	22
5.1. Alcances.....	22
5.2. Limitaciones.....	22
6. MARCO REFERENCIAL	23
6.1. Estado del Arte.....	23
6.1.1. Antecedentes Nacionales.	23
6.1.2. Antecedentes Internacionales.	27
6.2. Marco Histórico.....	31
6.3. Marco Teórico y/o Técnico.....	32
6.4. Marco Geográfico.....	36
6.5. Marco Legal.....	39
7. DISEÑO METODOLÓGICO.	44
7.1 Definición del Alcance y Objetivos de la Revisión.....	44
7.2 Búsqueda y Selección de la Literatura	44
7.3 Revisión y Análisis de la Literatura	45
7.4 Identificación de Lagunas y Áreas de Futuras Investigaciones.....	45
7.5 Tipo de Investigación	45
7.6 Enfoque de Investigación.....	46
7.7 Hipótesis, Variables E Indicadores.....	46
7.7.1. Hipótesis General.	46
7.7.2. Hipótesis Especifica.....	46
7.7.3. Variables e Indicadores.	47
7.8 Universo.....	47

7.9 Población	48
7.10 Muestra	49
7.11 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	49
7.12 Procedimiento y Fases.....	49
8. RESULTADOS.....	51
8.1 Objetivo No.1	51
8.1.1 Antecedentes y Contexto Histórico.	51
8.1.2 Aspectos Técnicos.....	52
8.1.3 Aspectos Sociales y Económicos	52
8.1.4 Desafíos y Oportunidades	53
8.1.5 Aspectos Políticos	53
8.2 Objetivo No.2	57
8.2.1 Selección de Tecnologías Viables.....	58
8.3 Objetivo No.3	63
8.3.1 Cumplimiento de los Compromisos Climáticos Internacionales	63
8.3.2 Evaluación de la Eficiencia y Costos de Implementación	66
9. CONCLUSIONES.....	69
10. RECOMENDACIONES	71
11. BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Evolución de las importaciones de gas de la Unión Europea.....	16
Figura 2 Clasificación energías renovables en Europa.	34
Figura 3 Mapa de los gaseoductos de Europa.	37
Figura 4 Objetivo acuerdo de París 2015.	41
Figura 5 Compromisos UE estrategia Net Zero.	42
Figura 6 Compromiso UE pacto verde europeo.	43
Figura 7 Evolución de las importaciones de gas de la Unión Europea.....	54
Figura 8 Tendencias, previsiones y metas y objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE.	57
Figura 9 Tendencias, previsiones y metas y objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE.	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 . Variables e indicadores de la investigación.....	47
Tabla 2. Población Unión Europea.....	48
Tabla 3. Etapas y fases de la investigación.....	50
Tabla 4. Cuadro de políticas ambientales países de la unión europea.....	53
Tabla 5. Comparación de tecnologías en energías renovables.	61
Tabla 6. Comparación de tecnologías renovables en la Unión Europea.	63
Tabla 7. Comparación Eficiencia, Costos y Cumplimiento Climático por País.	68

LISTA DE ACRONIMOS

U.E: Unión Europea (versión en español).

E.U: Unión Europea.

A.P: Acuerdo de París.

P.T: Protocolo de Tokio.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

GNL: Gas Natural Licuado.

AIE: Agencia Internacional de Energía.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

IRENA: Agencia Internacional de Energías Renovables.

BMU: Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (Alemania).

UNFCCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

KW/h: Kilovatio hora.

NDC: Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (del inglés, Nationally Determined Contributions).

LCOE: Costo Nivelado de Electricidad (del inglés, Levelized Cost of Electricity).

FV: Fotovoltaica.

AEBIOM: Asociación Europea de Biomasa (del inglés, European Biomass Association).

EGEC: Consejo Europeo de Energía Geotérmica (del inglés, European Geothermal Energy Council).

RE: Energía Renovable.

EB: Energía Biomasa.

EEA: Agencia Europea del Medio Ambiente (del inglés, European Environment Agency).

EA: Agencia Internacional de Energía (del inglés, International Energy Agency).

BNetzA: Agencia Federal de Redes de Alemania (del inglés, Federal Network Agency).

1. INTRODUCCION

Las políticas de fomento de energías renovables y la transición hacia fuentes de energía más limpias han tenido un impacto notable en la seguridad energética y el cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales en Europa. La significativa reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en países como Alemania y España, gracias a sus agresivas inversiones en energía solar y eólica, ejemplifica cómo estas políticas están alineadas con los objetivos del Acuerdo de París. Además, Suecia e Italia han hecho contribuciones valiosas mediante el uso de biomasa y energía geotérmica, respectivamente.

En conjunto, la Unión Europea ha superado sus compromisos bajo el Protocolo de Kioto y ha establecido metas aún más ambiciosas bajo el Acuerdo de París. De hecho, la UE se comprometió a reducir sus emisiones de GEI en un 8% entre 2008 y 2012 en comparación con los niveles de 1990, logrando una reducción del 18% (European Environment Agency, 2016). Con el Acuerdo de París, la UE se ha propuesto reducir sus emisiones en al menos un 55% para 2030 en comparación con los niveles de 1990 (European Commission, 2020).

La inversión en tecnologías de bajo carbono no solo está facilitando la reducción de emisiones, sino también fomentando la innovación tecnológica y el desarrollo sostenible, lo que refuerza la seguridad energética de la región. Suecia ha liderado el camino en el uso de biomasa como fuente de energía, con más del 50% de su energía proveniente de fuentes renovables en 2020 (Swedish Energy Agency, 2021). Italia, por su parte, ha avanzado significativamente en el uso de energía geotérmica, especialmente en la región de Toscana, contribuyendo a la reducción de GEI y mejorando la sostenibilidad energética (Italian Ministry of Economic Development, 2021).

Además, es crucial considerar la dependencia de Europa del gas natural ruso. En 2021, el 38% del gas natural consumido en Europa procedía de Rusia. Esta dependencia es particularmente significativa en países como Alemania (65%), Polonia (54%) e Italia (43%), y alcanza niveles críticos en naciones como Letonia y República Checa (100%), Eslovaquia (85%) y Hungría (95%) (Flanagan, Kammer, Pescatori, & Stuermer, 2022). Esta situación ha generado tensiones geopolíticas y económicas, destacando la importancia de diversificar las fuentes de energía para mejorar la seguridad energética del continente.

Finalmente, las políticas y medidas adoptadas para aumentar la producción de energías renovables y reducir la dependencia del gas natural importado son vitales para la independencia económica y geopolítica de Europa. Los conflictos energéticos entre Ucrania y Rusia, así como las sanciones impuestas por la UE a Rusia, subrayan la necesidad de una mayor autonomía energética. Por lo tanto, la adopción de tecnologías renovables no solo es una respuesta a los desafíos climáticos, sino también una estrategia clave para asegurar la estabilidad y seguridad energética de Europa.

2. PROBLEMA

2.1. Definición del Problema.

Según el informe "BP Statistical Review of World Energy" Rusia se posiciono en 2021 como líder mundial en reservas de gas natural (BP, 2021). Las reservas probadas del país ascendían a 1.668 trillones de pies cúbicos, superando las de Irán (1.127 trillones) y Estados Unidos (420 trillones). Ya en 2018, Rusia había ostentado el primer lugar en reservas probadas de gas, con 1.375 trillones de pies cúbicos (EIA, 2018). Catar ocupaba el cuarto lugar en 2021, con 872.1 trillones de pies cúbicos (BP, 2021).

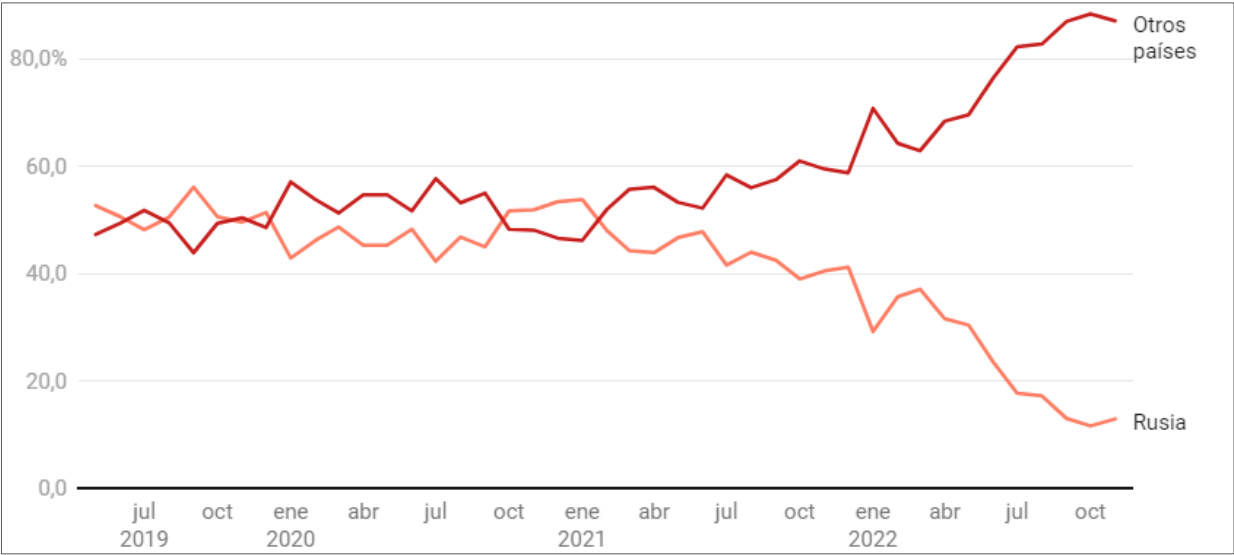
En Europa, el gas natural juega un papel fundamental en el funcionamiento cotidiano de hogares, oficinas y empresas. Su uso abarca desde el calentamiento de agua y la cocción de alimentos hasta la generación de electricidad y la alimentación de procesos industriales. La disponibilidad regular de gas, especialmente durante los fríos meses de invierno, resulta vital para garantizar el bienestar de la población (Eurostat, 2024).

Actualmente el continente europeo se encuentra en una situación de elevada dependencia del gas natural proveniente de Rusia, lo que representa un desafío económico y geopolítico significativo. Aproximadamente el 40% del gas natural consumido en Europa proviene de Rusia, lo que genera un costo diario de 118.000 millones de dólares (Agencia Internacional de la Energía, 2023). Esta dependencia es aún mayor en el caso del gas natural, con una media cercana al 57%, y del petróleo, alcanzando el 88% (Eurostat, 2024).

Los principales consumidores de gas natural ruso en Europa son Alemania, Italia, Francia y Turquía, seguidos por Holanda, Austria y Polonia (Eurostat, 2024). Para Rusia, el mercado europeo constituye una fuente crucial de ingresos por divisas. Las interrupciones en el suministro de gas natural pueden generar un impacto significativo en la vida de las personas. Tal como se evidenció en las crisis de precios del gas de 2006, 2009 y 2014, la falta de este recurso esencial puede afectar durante días las actividades diarias y la economía en general (IEA 50, 2024).

Desde la incursión militar efectuada en Ucrania el 24 de febrero de 2022 por parte del ejército ruso se redujo el suministro de gas natural hacia Ucrania y el resto de Europa. Esta reducción resulto en un impacto considerable directamente a la población civil, con menos calefacción, menor disponibilidad energética y un decremento en la presión de gas para cocinar (Eurostat, 2024).

Figura 1 Evolución de las importaciones de gas de la Unión Europea



Nota: La figura 1 representa la evolución de las importaciones de gas natural ruso vs otros países a la Unión Europea durante el periodo comprendido entre 2019 y 2023. Tomado de *Datawrapper diario el Público* (Tena, 2023)

El incremento de los precios calculado por el modelo se fundamenta en un supuesto equilibrio de mercado y no refleja la reacción inmediata a una súbita escasez física de gas (por ejemplo, el precio al contado del gas natural en Europa en 2022 fue aproximadamente de 5 a 10 veces más alto que el precio promedio en años anteriores). Las respuestas repentinas de los precios a eventos disruptivos, como la interrupción del suministro de gas ruso, a menudo también están influenciadas por la incertidumbre y actividades especulativas repercutiendo directamente a las importaciones de la unión europea, teniendo impactos directos a corto plazo en la actividad económica y la inflación, los cuales no pueden ser capturados por modelos cuantitativos. (Sampedro, 2024).

Los sistemas de modelado de energía podrían revelar que al incluir las emisiones de gases de efecto invernadero de todo el ciclo de vida y las últimas evaluaciones del potencial de calentamiento del metano, las conclusiones sobre el gas natural experimentan cambios significativos. Esto podría llevar a los investigadores a descartar el gas natural como un combustible de uso secundario y a explorar otras alternativas, como la eficiencia energética y la suficiencia en escenarios de reducción. (Kemfert, 2022)

Importancia de Evaluar Soluciones técnicas con Energías Renovables

De acuerdo con lo anterior la sustitución del gas natural ruso por fuentes de energía renovable se ha convertido en un imperativo estratégico para la seguridad energética de Europa. La Unión Europea ha logrado avances considerables en la reducción de su dependencia de las importaciones de gas ruso, disminuyéndolas del 45% en 2021 a solo el 15% en 2023. Este logro se ha alcanzado mediante una combinación de estrategias que incluyen la diversificación de las fuentes de suministro y la reducción del consumo de gas natural (David Ah-Voun, 2024).

De esta manera una diversificación en los suministros de energía es un elemento esencial para reducir la dependencia de un único proveedor y fortalecer la seguridad energética de Europa. En el año 2023, los principales proveedores de gas natural para la Unión Europea fueron Noruega (30%) y Estados Unidos (19%). Esta diversificación ha sido impulsada por un aumento significativo en las importaciones de gas natural licuado (GNL) proveniente de estos y otros países. Esta estrategia resulta crucial para mitigar el riesgo de interrupciones en el suministro de energía causadas por conflictos geopolíticos o eventos disruptivos (Mattia De Rosa, 2022).

Así mismo la transición hacia energías renovables se presenta como una solución integral, no solo para abordar la crisis energética actual en el continente europeo, sino también para establecer un modelo energético sostenible a largo plazo. En este sentido, la Unión Europea ha tomado medidas proactivas como el plan REPowerEU, que tiene como objetivo acelerar la adopción de fuentes de energía limpias y mejorar la eficiencia energética en la región. Esta iniciativa forma parte de la estrategia más amplia de la UE

para alcanzar la neutralidad climática para el año 2050 (Comisión Europea, 2022).

El gas natural es una fuente de energía importante en Europa y representa alrededor del 23 % del consumo final total de energía en 2021, con un papel vital en la producción de electricidad y calor. Este papel ha crecido en los últimos años a medida que ha aumentado el consumo de gas, a pesar de la dependencia de las importaciones. Según el Consejo Europeo, la UE importó alrededor del 81% del gas natural consumido en 2021, que incluye gas natural licuado (GNL) e importaciones de gas por gasoducto. (Sampedro, 2024)

Finalmente, la actual coyuntura energética en Europa, marcada por la fuerte dependencia del gas ruso y agravada por el conflicto en Ucrania, pone de manifiesto la imperiosa necesidad de diversificar las fuentes de energía y acelerar la adopción de alternativas renovables. La evaluación e implementación de soluciones técnicas que fomenten el uso de energías limpias resulta fundamental para garantizar la seguridad energética a largo plazo y alcanzar los objetivos climáticos establecidos. Si bien la Unión Europea ha dado pasos importantes en esta dirección, se requiere una colaboración continua y una inversión sostenida en infraestructura y tecnología para superar estos retos de manera efectiva (Europea, 2022).

2.2. Pregunta y/o afirmación de la Investigación.

¿Qué soluciones técnicas viables basadas en tecnologías de energías renovables de acuerdo con las variables geográficas del ambiente se pueden implementar para superar la crisis energética en Europa, originada por la escasez de gas natural y la dependencia del gas ruso?

3. JUSTIFICACIÓN

El cambio hacia fuentes energéticas renovables no solo es posible desde el punto de vista técnico, sino que también resulta crucial para diversificar el panorama energético y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. En los últimos años, las tecnologías de energía renovable, como la solar y la eólica, han experimentado un avance significativo en cuanto a su eficiencia y costo.

De acuerdo con un informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE), el precio de la energía solar fotovoltaica ha registrado una caída del 85% entre 2010 y 2020, con expectativas de continuar decreciendo (Simeonova, 2023). Adicionalmente, la implementación de redes inteligentes y sistemas de almacenamiento de energía puede optimizar la integración de estas fuentes renovables en la red eléctrica, garantizando un suministro energético constante y confiable (Kardas, 2023).

Desde una perspectiva social la adopción de energías renovables conlleva notables beneficios, incluyendo mejoras en la salud pública y el panorama laboral. La disminución del uso de combustibles fósiles, a su vez, reduce la contaminación del aire, lo que se traduce en una mejor calidad del aire y una menor incidencia de enfermedades respiratorias. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire es responsable de aproximadamente 7 millones de muertes prematuras cada año (Kardas, 2023). Por otro lado, el sector de las energías renovables se ha convertido en un importante motor de creación de empleo. La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) reporta que, en 2020, este sector empleó a más de 11.5 millones de personas a nivel mundial, y se espera que esta cifra continúe creciendo a medida que se incrementen las inversiones en tecnologías limpias (Simeonova, 2023).

Desde un punto de vista económico, la transición hacia energías renovables puede generar una ventaja competitiva a largo plazo. La diversificación de las fuentes energéticas permite reducir la volatilidad de los precios y proteger las economías de las fluctuaciones en los mercados de combustibles fósiles. Adicionalmente, el desarrollo de infraestructuras relacionadas con energías renovables puede atraer inversiones y

estimular el crecimiento económico local. Un estudio realizado por la Universidad de Oxford evidenció que cada dólar invertido en la transición energética puede generar beneficios económicos de entre 3 y 8 dólares, debido a la reducción de los costos de energía, la creación de empleos y la mejora de la salud pública (Simeonova, 2023).

Políticamente la adopción de energías renovables se traduce en un fortalecimiento de la seguridad energética y una menor dependencia de proveedores externos, lo cual puede contribuir a la reducción de tensiones geopolíticas. La crisis energética en Europa, desencadenada por el conflicto en Ucrania, ha puesto de manifiesto la vulnerabilidad que implica depender del gas ruso. En respuesta a esto, la Unión Europea, a través de iniciativas como el plan RE Power EU, está acelerando la transición hacia energías limpias y fomentando la cooperación entre sus estados miembros para diversificar las fuentes de energía y mejorar la resiliencia energética (Kardas, 2023). Este enfoque, además, permite a Europa alinearse con sus compromisos climáticos internacionales, fortaleciendo su posición en la lucha global contra el cambio climático.

La adopción de energías renovables se fundamenta en argumentos sólidos desde diversas perspectivas: técnica, social, económica y política. Las tecnologías renovables no solo son viables y su costo disminuye constantemente, sino que también brindan beneficios considerables en materia de salud pública, generación de empleo y seguridad energética. La inversión en energías limpias se configura como una estrategia eficaz para garantizar un futuro sostenible, resiliente y próspero. La cooperación internacional y las políticas de apoyo son fundamentales para maximizar estos beneficios y acelerar la transición energética.

A partir de esta transición energética, las economías europeas se adaptaron de manera más efectiva de lo previsto ante la significativa reducción del suministro de gas ruso en 2022, superando incluso las previsiones más pesimistas. El cierre gradual y parcial del suministro de gas natural ruso a Europa posibilitó la reconfiguración de la red de gasoductos, manteniendo una buena integración de los mercados europeos.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Analizar el estado actual sobre las soluciones técnicas basadas en energías renovables que pueden contribuir a la reducción de la dependencia de Europa del gas natural ruso, alineadas con los compromisos climáticos internacionales.

4.2. Objetivos Específicos

- Clasificar la literatura existente sobre las características técnicas y políticas de la dependencia de Europa del gas natural ruso y los desafíos asociados a la crisis energética actual.
- Identificar estudios y publicaciones que evalúan diferentes soluciones técnicas basadas en energías renovables, que han sido propuestas o implementadas en los últimos años.
- Evaluar el impacto reportado de estas soluciones en términos de seguridad energética y cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales.

5. ALCANCES Y LIMITACIONES

5.1. Alcances

- La monografía examinará la viabilidad técnica de diversas fuentes de energía renovable, como la eólica, solar y biomasa, en el contexto europeo.
- Se evaluará el impacto ambiental de las diferentes fuentes de energía renovable, comparándolas con el impacto de los combustibles fósiles.
- La monografía abordará las políticas y regulaciones actuales en Europa que afectan la adopción de energías renovables. Se analizarán las barreras legales y se propondrán recomendaciones para fomentar un entorno regulatorio favorable que apoye la transición energética.
- Se incluirán estudios de casos de países europeos que hayan implementado con éxito soluciones basadas en energías renovables.

5.2. Limitaciones

- La revisión puede estar influenciada por la selección de fuentes, donde el autor elige estudios que apoyen su punto de vista, ignorando aquellos que presentan resultados contradictorios.
- Al centrarse en un solo aspecto (como las tecnologías renovables), se pueden pasar por alto otros factores importantes, como las políticas regulatorias o las barreras económicas.
- Las conclusiones basadas en la revisión de estudios de diferentes contextos pueden no ser aplicables a todas las regiones o situaciones, ya que las condiciones locales pueden variar significativamente.
- Los cambios rápidos en el contexto político y económico pueden afectar las políticas y estrategias energéticas, lo que puede no estar reflejado en la literatura revisada.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. Estado del Arte

En el contexto de la crisis energética europea, el estado del arte ofrece una visión comprensiva de las investigaciones y desarrollos más recientes en torno al uso de tecnologías renovables y su impacto en la seguridad energética y el cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales. Europa se enfrenta a una dependencia crítica del gas natural, especialmente de Rusia, lo que ha llevado a una serie de estudios y análisis sobre cómo diversificar las fuentes de energía y aumentar la eficiencia energética.

La revisión de la literatura actual aborda los avances en la adopción de energías renovables como la solar, eólica, biomasa y geotérmica, y cómo estas tecnologías pueden mitigar la crisis energética. Además, se examinan las políticas energéticas implementadas por países europeos y su efectividad en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, así como en el fortalecimiento de la seguridad energética del continente. Este análisis es crucial para entender el panorama actual y las futuras direcciones en las estrategias energéticas europeas.

6.1.1. Antecedentes Nacionales.

El informe "Plan de Expansión de Generación de Energía Eléctrica 2023 – 2032" (UPME, 2023), elaborado por la Unidad de Planificación Minero-Energética (UPME) de Colombia, es un documento crucial para la planificación del sector eléctrico del país. Este informe tiene como objetivo principal establecer la proyección de la demanda de energía eléctrica en Colombia para el período 2023-2032 y, en base a ella, definir las necesidades de expansión de la generación de energía.

Para alcanzar este objetivo, se realiza un análisis exhaustivo de diversos factores que influyen en la demanda de energía, como el crecimiento económico, el desarrollo industrial, los cambios demográficos y las políticas públicas. Además, se proponen escenarios de demanda de energía eléctrica y, para cada uno, se definen las necesidades de expansión de la generación.

Con base en este análisis, el informe plantea la expansión de la generación de energía eléctrica a través de la construcción de nuevas centrales eléctricas, la ampliación de las existentes y la implementación de medidas de eficiencia energética. Asimismo, se analizan las diferentes tecnologías de generación disponibles, como las energías renovables, la generación térmica y la generación nuclear.

En base a este análisis, se recomienda la combinación de tecnologías más adecuada para satisfacer la demanda de energía eléctrica de manera sostenible y segura. Más allá de la expansión de la generación, el informe aborda otros aspectos importantes del sector eléctrico, como la transmisión de energía, la distribución de energía y la interconexión con países vecinos.

Por otro lado, la Política de Transición Energética de Colombia, presentada en 2019 por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, establece un plan estratégico fundamental para el futuro energético del país. En este documento, su objetivo principal es impulsar la transición hacia un sistema energético más sostenible, seguro y competitivo, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y promoviendo el uso de fuentes de energía renovables.

Para ello, se definen áreas estratégicas que cubren distintos aspectos del ámbito energético. Estas áreas comprenden la ampliación de la gama de fuentes energéticas, con un incremento en el uso de energías renovables, la implementación de incentivos para su desarrollo y la explotación del potencial de energías renovables en regiones específicas del país. Además, se fomenta la eficiencia energética a través de la

disminución del consumo de energía, la promoción de tecnologías eficientes y la concienciación y educación de la población.

La transformación del sector eléctrico incluye la modernización de la infraestructura, el desarrollo de mercados de energía y la integración de nuevas tecnologías. También se aborda la gestión sostenible de los recursos energéticos, con medidas para proteger el medio ambiente, aprovechar los recursos de manera sostenible y gestionar el cambio climático.

Finalmente, se destaca la gobernanza y participación, con el fortalecimiento institucional, la participación de la sociedad civil y el fomento de la investigación y desarrollo en nuevas tecnologías energéticas. Así, la Política de Transición Energética de Colombia se presenta como un marco de acción fundamental para la construcción de un futuro energético más sostenible, seguro y competitivo.

El potencial de las energías renovables en Colombia es analizado en detalle en el artículo "Renewable Energy Potential in Colombia: A Review" (Gonzalez, 2022). Este artículo revisa exhaustivamente el potencial de diversas fuentes de energía renovable en el país, incluyendo la solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa y geotérmica. De hecho, los resultados indican que Colombia posee un potencial significativo para la generación de energía renovable, gracias a su ubicación geográfica, clima favorable y abundancia de recursos naturales.

En particular, se destaca el alto potencial de la energía solar y eólica, con suficiente capacidad para satisfacer varias veces la demanda actual de energía eléctrica del país. Sin embargo, también se identifican desafíos como la falta de infraestructura, la financiación y la integración en la red.

Complementando este análisis, el "Atlas de Energías Renovables en Colombia" (ANM, 2020), elaborado por la Agencia Nacional de Minería, se presenta como una herramienta

fundamental para el desarrollo del sector de las energías renovables en el país.

El objetivo principal del Atlas es proporcionar información detallada y actualizada sobre el potencial de las energías renovables en Colombia.

En efecto, el Atlas incluye mapas de recursos, datos técnicos, herramientas de análisis y estudios de caso que permiten a una amplia gama de actores, desde investigadores hasta desarrolladores de proyectos, evaluar el potencial de sitios específicos para la generación de energía renovable. Por lo tanto, esta información es crucial para promover la inversión, el desarrollo y la adopción de las energías renovables en Colombia.

Finalmente, el informe "Panorama de la transición energética en Colombia: retos del segundo semestre de 2023" (Unigas, 2023) analiza la situación actual del sector energético colombiano, con un enfoque particular en las energías renovables y los desafíos que enfrenta su desarrollo. Entre los principales hallazgos, se destacan el aumento de la demanda de energía, el alto potencial de las energías renovables y los desafíos para su desarrollo, como la falta de infraestructura, financiación e integración en la red.

Así, el informe concluye que, a pesar de los desafíos, Colombia tiene un gran potencial para convertirse en un líder en la producción de energía renovable, recomendando la implementación de medidas como la inversión en infraestructura, la promoción de la financiación y la mejora de la integración en la red.

En síntesis, estas investigaciones presentan una visión integrada del futuro energético de Colombia, subrayando la importancia de la planificación, la transición hacia energías renovables, el aprovechamiento del potencial natural del país y la necesidad de enfrentar los desafíos estructurales para garantizar un suministro de energía confiable, sostenible y seguro. La combinación de estrategias y políticas bien articuladas permitirá a Colombia avanzar hacia un sistema energético más resiliente y eficiente, contribuyendo significativamente al desarrollo económico y social del país.

6.1.2. Antecedentes Internacionales.

El informe "Perspectivas de la Energía Renovable 2023" (Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2023) proporciona un análisis exhaustivo sobre el crecimiento y las tendencias del sector de las energías renovables a nivel global durante el año 2023. Un hallazgo notable es el crecimiento récord en la capacidad de generación de energía renovable, que aumentó un 50%, alcanzando los 3.870 gigavatios (GW). Este aumento subraya la rápida expansión y el potencial creciente del sector a nivel mundial, marcando un hito significativo en la transición hacia fuentes de energía más limpias.

Dentro de este contexto, la energía solar fotovoltaica ha sido la principal contribuyente al crecimiento, representando tres cuartas partes de las nuevas adiciones globales. Además, la inversión en energías renovables alcanzó un máximo histórico de 1.7 billones de dólares, lo que refleja un compromiso financiero sin precedentes con las tecnologías limpias. Estos datos destacan una tendencia clara hacia una mayor adopción de energías renovables en el ámbito global, impulsada por la necesidad de abordar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El informe también señala que las energías renovables se han convertido en la segunda fuente más importante de generación de electricidad a nivel mundial. Se proyecta que superarán al carbón como la principal fuente de electricidad a principios de 2025. La reducción en el uso de combustibles fósiles ha tenido un impacto significativo, evitando 1.2 mil millones de toneladas de emisiones de CO₂ en 2023, lo que destaca la importancia de las energías renovables en la mitigación del cambio climático.

En términos de regiones, Asia ha liderado el crecimiento en capacidad de energía renovable en 2023, seguida por Europa y América del Norte. China ha emergido como el mayor mercado de energía renovable del mundo, con Estados Unidos y la Unión Europea también desempeñando roles destacados. La dinámica regional subraya el papel crucial de Asia en la transición energética global y la expansión de las capacidades renovables.

El informe también resalta las tecnologías clave que están impulsando este crecimiento, incluyendo la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. El almacenamiento de energía está emergiendo como un componente esencial para integrar energías renovables intermitentes en el sistema energético. Esta tecnología es crucial para maximizar el aprovechamiento de las fuentes renovables y asegurar una integración eficiente en la red eléctrica, permitiendo una mayor estabilidad y fiabilidad en el suministro de electricidad.

Por otro lado, el artículo "Cerrando la brecha entre la energía solar y eólica: una revisión de las tecnologías de almacenamiento de energía" (Lilliestadt, 2023) se enfoca en cómo las tecnologías de almacenamiento pueden superar las limitaciones de la energía solar y eólica. Aunque estas fuentes renovables son prometedoras, enfrentan desafíos significativos debido a su variabilidad e intermitencia, lo cual puede complicar su integración en las redes eléctricas tradicionales. Aquí es donde las tecnologías de almacenamiento juegan un papel fundamental.

Las tecnologías de almacenamiento permiten acumular el exceso de energía generada durante periodos de alta disponibilidad, como en días soleados o con viento, para liberarla cuando la demanda es alta o cuando las condiciones climáticas no son favorables. Este almacenamiento es crucial para equilibrar la oferta y la demanda de electricidad, garantizando un suministro continuo y fiable. Sin estas tecnologías, sería difícil mantener una red eléctrica estable y eficiente.

Entre las tecnologías de almacenamiento analizadas se incluyen las baterías, como las de plomo-ácido y las de litio, así como el almacenamiento de energía térmica. Este último método almacena energía en forma de calor, como en sales fundidas o aire caliente, para convertirla en vapor y generar electricidad cuando sea necesario. El artículo concluye que el avance en estas tecnologías es esencial para superar las limitaciones de la energía solar y eólica, facilitando una transición hacia un futuro energético más sostenible.

Además, el informe "Estadísticas de energías renovables" (Eurostat, 2023) proporciona una visión detallada de los datos sobre energías renovables en la Unión Europea (UE). Este informe destaca la proporción del consumo de energía derivada de fuentes renovables dentro de la UE y las tendencias a lo largo del tiempo. La descripción detallada de los datos permite un análisis exhaustivo del progreso y el impacto de las políticas energéticas en la región.

El informe también desglosa los datos por tipo de fuentes renovables, como la energía solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa y geotérmica. Este desglose permite observar la contribución de cada tipo a la combinación de energía renovable de la UE y facilita la identificación de tendencias regionales. Además, se presentan estadísticas sobre la capacidad instalada y la generación real de electricidad a partir de estas fuentes, ofreciendo una imagen clara del estado actual del sector.

Otro aspecto importante del informe es el análisis de las políticas y objetivos de la UE en relación con las energías renovables. Se evalúa el progreso hacia el cumplimiento de estos objetivos y se proporcionan datos cruciales para que los responsables políticos y las partes interesadas ajusten sus estrategias. Esta información es esencial para guiar futuras decisiones y para asegurar que la transición energética sea efectiva y esté alineada con los objetivos climáticos de la región.

Para complementar, el "Informe Global de Energía Renovable 2024" (Bloomberg NEF, 2024) examina las proyecciones del mercado de energías renovables para el próximo año. Este informe resalta un continuo aumento en la capacidad instalada de energías renovables y una reducción de los costos asociados, impulsados por el creciente compromiso con los objetivos climáticos internacionales. La inversión en energías renovables se espera que siga creciendo, reflejando una tendencia positiva hacia la sostenibilidad.

El informe también pone énfasis en la innovación en tecnologías emergentes, como la energía marina y las soluciones de hidrógeno verde. Estas tecnologías están ganando relevancia como alternativas prometedoras para la descarbonización del sector energético. Su desarrollo puede desempeñar un papel crucial en la transición hacia un futuro energético más sostenible y en la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.

Finalmente, el estudio "Desafíos y Oportunidades en la Energía Eólica en América Latina" (International Energy Agency, 2024) ofrece una visión detallada sobre la situación actual y futura de la energía eólica en la región. El informe destaca el rápido crecimiento en la instalación de parques eólicos y la mejora en la tecnología de turbinas, que ha permitido una mayor eficiencia y reducción de costos. Este avance es crucial para aumentar la capacidad de generación eólica en América Latina.

Sin embargo, el informe también identifica desafíos significativos, como la necesidad de una infraestructura adecuada y políticas de apoyo que fomenten una mayor inversión en energía eólica. Con un enfoque estratégico y un respaldo adecuado, la energía eólica puede desempeñar un papel fundamental en la transición energética de América Latina, contribuyendo a la reducción de emisiones y al desarrollo sostenible de la región.

En definitiva, estos informes proporcionan una visión completa del futuro energético global y regional. Destacan el crecimiento en energías renovables, la importancia de las tecnologías de almacenamiento, y los desafíos y oportunidades en distintos contextos. La integración de estrategias bien diseñadas y el aprovechamiento de innovaciones tecnológicas son fundamentales para avanzar hacia un sistema energético más sostenible y eficiente, contribuyendo al desarrollo económico y la mitigación del cambio climático a nivel mundial.

6.2. Marco Histórico.

La dependencia de la Unión Europea (UE) del gas natural ruso ha sido una preocupación creciente durante las últimas décadas. En 2021, el gas natural representó el 22% del consumo energético final de la UE, siendo Rusia el principal proveedor con aproximadamente el 45% de las importaciones de gas (Comisión Europea, 2021). Esta dependencia ha generado vulnerabilidades geopolíticas y económicas significativas, como se evidencia en la actual crisis energética. En el último año, los precios del gas natural se han quintuplicado, lo que ha elevado los costos de energía para hogares y empresas en la UE (Eurostat, 2023). Esta crisis ha exacerbado la inflación y ha puesto en riesgo la seguridad energética de la región.

En respuesta a la crisis, la UE ha implementado medidas para reducir su dependencia del gas natural ruso. En marzo de 2022, la Comisión Europea presentó el Plan REPowerEU, con el objetivo de reducir las importaciones de gas ruso en dos tercios para finales de 2023 (Comisión Europea, 2022). Este plan incluye aumentar la inversión en energías renovables, diversificar los proveedores de gas y mejorar la eficiencia energética. Estas acciones buscan garantizar un suministro energético más estable y seguro para la región.

El interés en las energías renovables ha crecido significativamente en las últimas décadas, impulsado por la preocupación por el cambio climático y la necesidad de mejorar la seguridad energética. En la década de 1970, la primera crisis del petróleo intensificó el interés en las energías renovables como alternativa a los combustibles fósiles (Yergin, 1991). Durante la década de 1990, se promulgó la Directiva 97/66/CE, estableciendo objetivos vinculantes para la participación de las energías renovables en la matriz energética de la UE (Directiva 97/66/CE, 1997).

La década de 2000 estuvo marcada por el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, que fomentaron el desarrollo de las energías renovables a nivel global (UNFCCC, 1997; UNFCCC, 2015). El Acuerdo de París, firmado en 2015, estableció el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2°C sobre los niveles preindustriales, con un esfuerzo por no superar los 1.5°C (UNFCCC, 2015). Además, el compromiso de "Net Zero" o neutralidad en carbono para 2050, acordado en 2021, orienta las políticas hacia una drástica reducción de las emisiones (UNFCCC, 2021).

En la década de 2010, la disminución de los costos y las mejoras tecnológicas hicieron que las energías renovables fueran más competitivas con los combustibles fósiles (REN21, 2021). En 2019, la UE adoptó el Pacto Verde Europeo, con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática para 2050, y estableció a las energías renovables como un componente clave para lograr esta meta (Comisión Europea, 2019). Finalmente, en 2022, la invasión de Ucrania por parte de Rusia desencadenó una crisis energética en la UE, subrayando la necesidad de diversificar las fuentes de energía y fortalecer la seguridad energética.

Eventos clave en la evolución de las energías renovables incluyen la aprobación de la Directiva 97/66/CE en 1997, el Paquete de Clima y Energía de la UE en 2008 (Directiva 2008/100/CE, 2008), el Acuerdo de París en 2015, y el Pacto Verde Europeo en 2019. Estos acuerdos internacionales han sido fundamentales para la formulación de estrategias energéticas sostenibles y para abordar los desafíos asociados con el cambio climático y la dependencia de combustibles fósiles.

6.3. Marco Teórico y/o Técnico

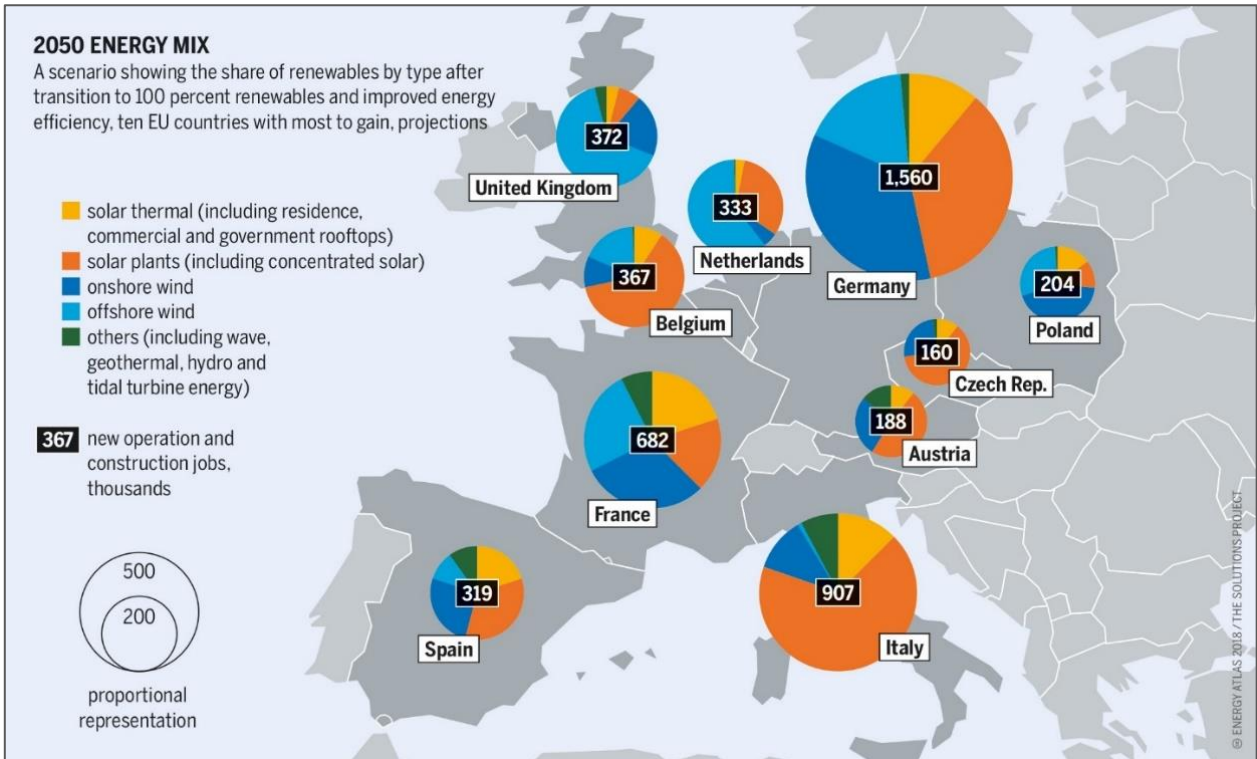
La transición energética en Europa ha sido un tema de creciente importancia debido a la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y, en particular, del gas natural procedente de Rusia. La crisis energética, exacerbada por los conflictos geopolíticos, ha resaltado la vulnerabilidad de muchos países europeos que dependen en gran medida de las importaciones de gas para satisfacer sus necesidades energéticas.

Ante esta situación, la Unión Europea ha intensificado sus esfuerzos para diversificar sus fuentes de energía, fomentar la producción local y promover el uso de energías renovables. Estas medidas no solo buscan garantizar la seguridad energética, sino también cumplir con los compromisos climáticos internacionales y avanzar hacia una economía más sostenible.

El desarrollo e implementación de tecnologías renovables, como la energía solar, eólica, geotérmica y biomasa, han cobrado protagonismo en las políticas energéticas de muchos países europeos. Alemania y España, por ejemplo, han adoptado políticas agresivas para incrementar su capacidad de generación de energía renovable, reduciendo así su dependencia del gas natural. Asimismo, Suecia e Italia han liderado el uso de la biomasa y la energía geotérmica, respectivamente, promoviendo innovaciones tecnológicas y el desarrollo de nuevas industrias sostenibles.

Para ilustrar mejor esta transición, a continuación, se presenta en la figura 2 el porcentaje de energías renovables en diferentes países europeos. Esta imagen permitirá visualizar los avances y desafíos que enfrenta Europa en su camino hacia la independencia energética y la sostenibilidad ambiental.

Figura 2 Clasificación energías renovables en Europa.



Nota: El grafico representa la clasificación de las energías renovables utilizadas por tipo en los países más representativos de la unión europea. Tomado de *Aura Energía* (Gil, 2020).

La importancia de la autonomía energética en Europa ha ganado relevancia en años recientes. La fuerte dependencia de Rusia, especialmente en el suministro de gas a economías clave como Alemania, plantea amenazas significativas para la independencia económica, geopolítica y energética del continente. La figura 2 muestra la distribución de energías renovables como la solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa, entre otras, en los países de la Unión Europea. Proporciona una visión general de qué tipos de energías renovables son más predominantes en estos países europeos, mientras que naciones como Letonia y la República Checa dependían totalmente de este suministro. (El Orden Mundial, 2021).

Además, los conflictos geopolíticos han exacerbado la vulnerabilidad energética de Europa. La crisis del gas entre Rusia y Ucrania de 2006-2009 y la disputa de 2014 tras la anexión de Crimea por Rusia son ejemplos significativos. Estos conflictos resultaron en cortes de suministro y escasez de gas en Europa, afectando especialmente a los países de los Balcanes y resaltando la necesidad de diversificar las fuentes de energía (El Orden Mundial, 2021). Si Ucrania decide retener el gas que atraviesa su territorio debido a la escasez, Europa occidental podría enfrentar escasez de gas, dado que aproximadamente el 25% del gas consumido en Europa pasa por Ucrania (Flanagan, Kammer, Pescatori, & Stuermer, 2022).

En respuesta a estas vulnerabilidades, muchos países de la UE han intensificado sus esfuerzos para diversificar sus fuentes de energía y aumentar el uso de energías renovables. Alemania y España, por ejemplo, han adoptado políticas agresivas para fomentar la energía solar y eólica, logrando significativos avances en la reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero (BMU, 2021; Red Eléctrica de España, 2021). Suecia ha destacado en el uso de biomasa, mientras que Italia ha invertido en energía geotérmica, especialmente en la región de Toscana (Swedish Energy Agency, 2021; Italian Ministry of Economic Development, 2021).

Asimismo, las tecnologías renovables no solo contribuyen a la reducción de emisiones, sino que también mejoran la seguridad energética al reducir la dependencia del gas natural. La eficiencia de estas tecnologías ha aumentado gracias a las políticas de incentivos y subsidios. Estos esfuerzos han permitido a países como Alemania y España avanzar hacia sus objetivos de reducción de emisiones bajo el Acuerdo de París (Fraunhofer ISE, 2020; IEA, 2021).

La eficiencia y los costos de implementación de tecnologías renovables varían entre países y tecnologías. En Alemania, la eficiencia de la energía solar es del 20-25% y la de la energía eólica es del 30-45%, con un costo nivelado de electricidad (LCOE) de

\$0.05/kWh y \$0.07/kWh, respectivamente (BNetzA, 2020; Fraunhofer ISE, 2020).

En España, los avances en energía solar han permitido alcanzar eficiencias superiores al 20%, con costos operativos reducidos (IEA, 2021). En Italia, aunque la inversión inicial en energía geotérmica es alta, los costos operativos son bajos, con un LCOE de entre \$0.10 y \$0.15/kWh (EGEC, 2020; Italian Ministry of Economic Development, 2021).

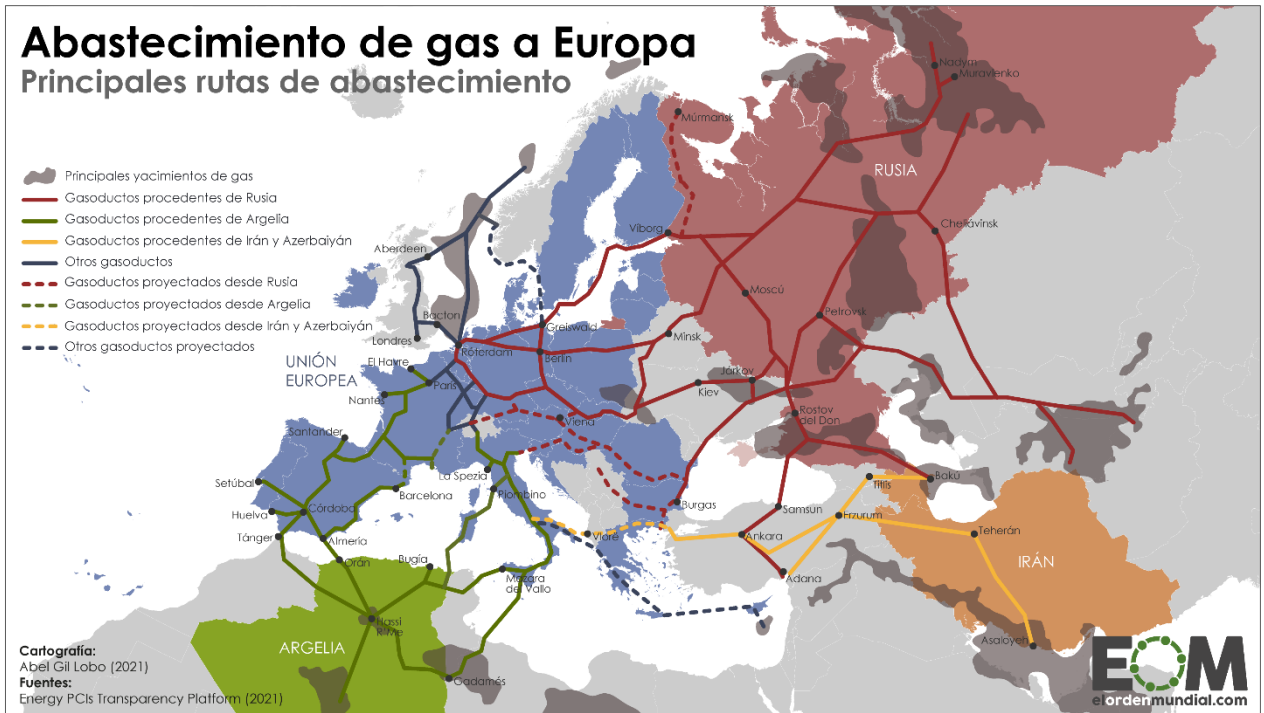
El análisis de datos sobre la eficiencia y costos de las tecnologías renovables se realiza aplicando técnicas estadísticas para evaluar la reducción de dependencia del gas natural y el cumplimiento de compromisos climáticos. Esto incluye la recolección de datos actuales, su análisis mediante técnicas estadísticas y la interpretación de los resultados en relación con las hipótesis planteadas. Es crucial que Europa logre ser autónoma en su consumo de energía, incluyendo la producción de gas, generación de electricidad para la industria, el transporte y los hogares. La fuerte dependencia de Rusia, en particular en el suministro de gas a la principal economía europea, como es el caso de Alemania, representa una amenaza para la independencia económica, geopolítica y energética de todo el continente.

Los líderes pro-occidentales de Ucrania están buscando una solución al problema energético con Moscú, mientras que el este del país sigue experimentando un violento conflicto con los insurgentes pro-rusos, dejando a la UE en una posición de espera (Flanagan et al., 2022).

6.4. Marco Geográfico.

La dependencia del gas ruso ha sido fuente de conflictos geopolíticos, notablemente las crisis del gas entre Ucrania y Rusia entre 2006 y 2009, y el conflicto tras la anexión de Crimea en 2014. Estas disputas han resaltado la vulnerabilidad de Europa a las interrupciones del suministro de gas. Aunque Rusia ha afirmado que el suministro está garantizado, la situación en Ucrania y las sanciones impuestas por la UE generan incertidumbre, subrayando la necesidad de reducir la dependencia del gas ruso (European Commission, 2021).

Figura 3 Mapa de los gasoductos de Europa.



Nota: El gráfico representa el mapa de los gasoductos de Europa recorriendo las zonas y fuentes de aprovisionamiento del continente donde hay una alta dependencia energética. Tomado de EOM El orden mundial (Gil, 2021).

Alemania, situada en el centro de Europa, es uno de los países más dependientes del gas ruso, con una tasa de dependencia del 65%. Su posición geográfica lo convierte en un punto clave de tránsito para el gas ruso hacia el resto de Europa. Esta centralidad aumenta la exposición de Alemania a las fluctuaciones en el suministro de gas ruso y a las tensiones geopolíticas. La crisis del gas entre Ucrania y Rusia, que tuvo lugar entre 2006 y 2009, y el conflicto posterior por la anexión de Crimea en 2014, resaltaron la vulnerabilidad de Alemania al suministro de gas, lo que ha impulsado al país a diversificar sus fuentes de energía mediante la adopción de tecnologías renovables (BMU, 2021).

Por otra parte, Polonia quien está ubicada en el este de Europa, tiene una dependencia del gas ruso del 54%. Su proximidad a Rusia y la falta de infraestructura de importación diversificada han hecho que dependa en gran medida del gas ruso para satisfacer sus necesidades energéticas. Los conflictos geopolíticos en la región, como las disputas entre Rusia y Ucrania, han afectado directamente el suministro de gas a Polonia, obligándola a buscar alternativas energéticas y a invertir en energías renovables para reducir su dependencia (European Commission, 2021).

Mientras que, en Italia, país ubicado en el sur de Europa, presenta una dependencia del gas ruso del 43%. La ubicación geográfica de Italia, que se encuentra alejada de los principales corredores de gas, limita sus opciones de diversificación del suministro. Además, la crisis en Ucrania y las sanciones impuestas a Rusia han resaltado la necesidad de Italia de encontrar fuentes de energía alternativas y sostenibles. La inversión en energía geotérmica en la región de Toscana busca mitigar esta dependencia, ofreciendo una fuente de energía estable y local (Italian Ministry of Economic Development, 2021).

Por otro lado, países como Letonia y la República Checa, que dependen completamente del gas ruso (100%), enfrentan una vulnerabilidad extrema debido a su escasa capacidad para diversificar sus fuentes de energía. Eslovaquia y Hungría, con dependencias del 85% y 95% respectivamente, también están altamente expuestos a los riesgos asociados con el suministro ruso. Estos países han experimentado problemas significativos durante las crisis del gas, como cortes en el suministro y aumentos en los precios del gas, lo que ha llevado a una urgente necesidad de adoptar tecnologías renovables y de mejorar la resiliencia energética (European Commission, 2021).

De este modo, en Bruselas, la Comisión Europea reconoce este problema y ha tratado de abordar la crisis mediante la promoción de políticas para diversificar el suministro y fomentar la adopción de tecnologías renovables. Los conflictos históricos y actuales con Rusia, como los relacionados con el tránsito de gas a través de Ucrania, han demostrado

la necesidad de reducir la dependencia del gas ruso para asegurar una mayor estabilidad energética en la región. A pesar de las garantías de Rusia sobre la seguridad del suministro, la inestabilidad política y las sanciones han creado un entorno incierto, impulsando a los países europeos a explorar fuentes de energía alternativas y sostenibles (European Commission, 2021).

En resumen, la crisis energética en Europa está profundamente vinculada a la dependencia del gas natural ruso, con implicaciones significativas para la seguridad energética y la estabilidad económica de los países afectados. La investigación se centrará en cómo la adopción de tecnologías renovables puede ayudar a mitigar esta dependencia y contribuir al cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales.

6.5. Marco Legal.

El marco legal de la Unión Europea (UE) ha sido crucial para fomentar y desarrollar las energías renovables, proporcionando un conjunto robusto de normas, directivas y estrategias que orientan a los Estados miembros y entidades relevantes. Desde hace décadas, la UE ha establecido un marco legal sólido y progresivo que ha impulsado significativamente el crecimiento de las energías renovables y ha sentado las bases para una transición energética equitativa y sostenible.

En cuanto a la evolución del marco legal, esta ha sido gradual y continua, adaptándose a los desafíos y oportunidades emergentes a lo largo del tiempo. Los hitos más relevantes en esta evolución pueden ser agrupados por décadas para ilustrar cómo se ha desarrollado el enfoque regulatorio de la UE.

Durante la década de 1990, se introdujo la Directiva 97/66/CE sobre energías renovables (1997), marcando un punto de inflexión significativo. Esta directiva estableció los primeros objetivos vinculantes para la participación de las energías renovables en la matriz energética de la UE, fijando una meta del 12% para el año 2010 (Directiva 97/66/CE del Consejo, 1997).

En la década de 2000, la Directiva 2008/100/CE sobre la promoción de las energías renovables a partir de fuentes no fósiles en 2008 elevó el objetivo vinculante para el año 2020 al 20%. Esta directiva también introdujo medidas para apoyar el desarrollo y la integración de las energías renovables en el sistema energético, tales como la creación de sistemas de apoyo financiero y la simplificación de procedimientos administrativos (Directiva 2008/100/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 2008). Estas medidas ayudaron a fortalecer la inversión en el sector de las energías renovables y facilitaron su integración.

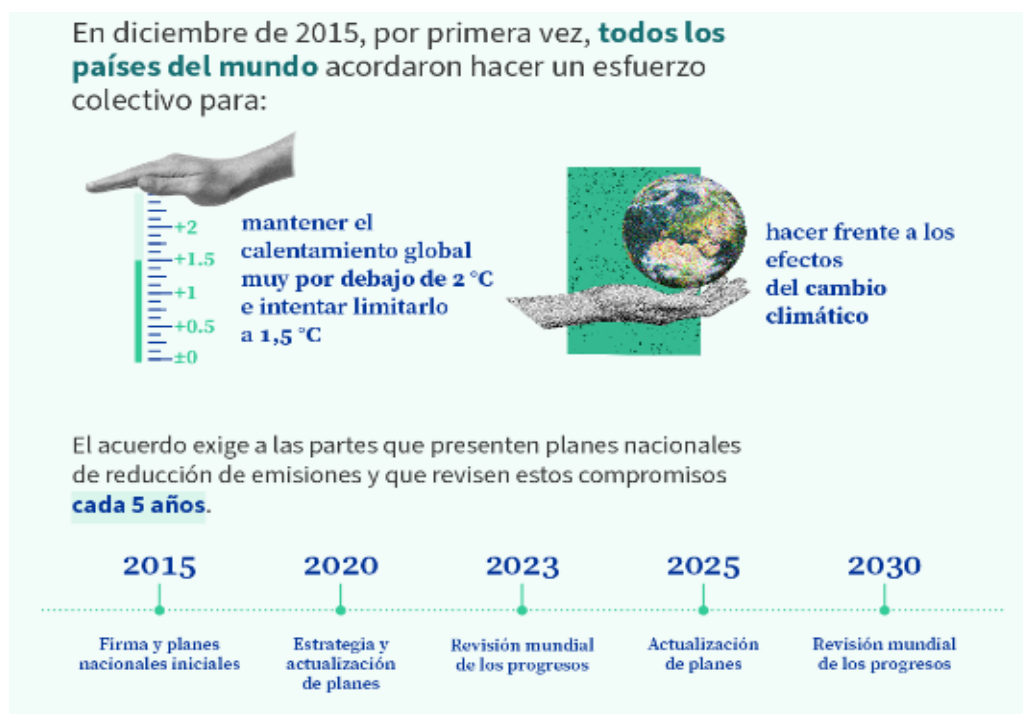
Durante la década de 2010, el Paquete de Clima y Energía 2020 de 2014 estableció un nuevo objetivo vinculante de energías renovables del 32% para el año 2030. Además, reforzó las medidas de apoyo a la inversión y la innovación en tecnologías renovables, incluyendo la creación de un Fondo Europeo para la Inversión Sostenible y la eliminación gradual de las subvenciones a los combustibles fósiles (Comunicación al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, 2014). Este paquete fue fundamental para avanzar hacia objetivos más ambiciosos y sostenibles.

En la década de 2020, la Directiva (UE) 2018/2001 sobre energías renovables (RED II) actualizó y consolidó la legislación anterior. Introdujo nuevas medidas para fomentar la autoproducción de energía renovable, la flexibilidad del sistema energético y la eficiencia energética (Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, 2018). Estas actualizaciones reflejan un enfoque más integral hacia la integración de las energías renovables y la adaptación a las necesidades cambiantes del mercado.

Además, la reciente Directiva (UE) 2023/0140 sobre energía renovable, que busca reforzar el marco existente, ha incorporado medidas adicionales para promover el uso de energías renovables en todos los sectores económicos, adaptando las políticas a los nuevos desafíos globales y regionales (Directiva (UE) 2023/0140 del Parlamento Europeo y del Consejo, 2023).

A nivel internacional, los acuerdos y tratados han jugado un papel esencial en la configuración del marco legal europeo. El Acuerdo de París de 2015 ha tenido un impacto significativo, estableciendo el objetivo de limitar el calentamiento global a menos de 2°C por encima de los niveles preindustriales, y preferiblemente a 1.5°C (UNFCCC, 2015). Este acuerdo internacional ha impulsado a la UE a adoptar medidas más ambiciosas en términos de reducción de emisiones y expansión de energías renovables.

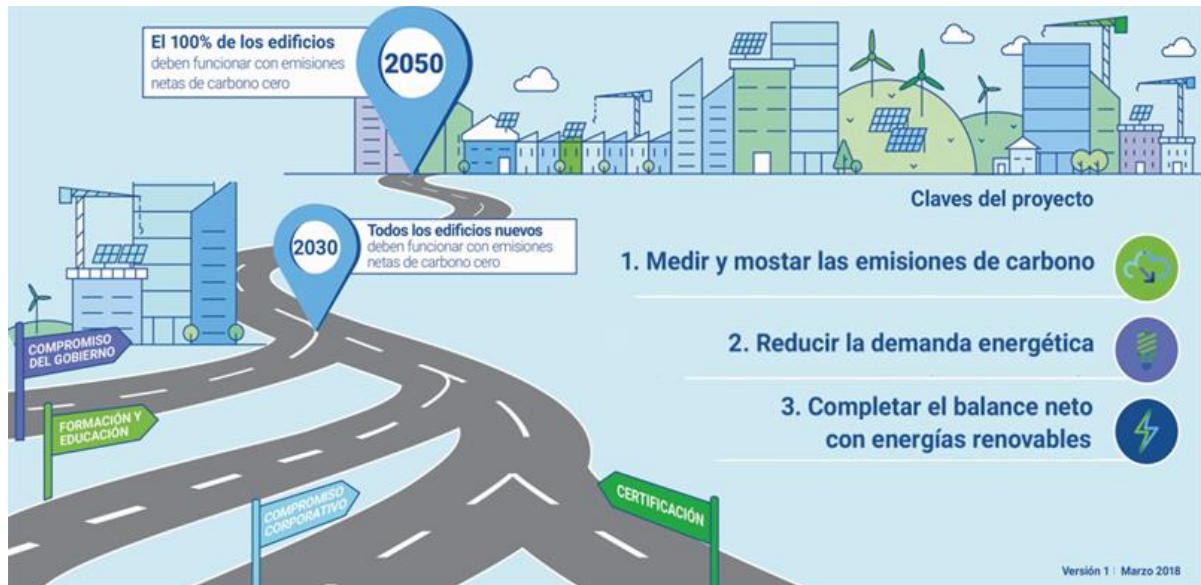
Figura 4 Objetivo acuerdo de París 2015.



Nota: El gráfico representa el objetivo del acuerdo de París por desde su inicio en 2015 hasta su revisión en 2030. *Tomado de Consejo de la UE (Consilium, 2023).*

La estrategia de Net Zero Emissions by 2050 de 2021 de la UE también es un marco clave que establece el objetivo de alcanzar emisiones netas cero para 2050, lo que implica una transición hacia una matriz energética completamente renovable y sostenible (Comisión Europea, 2021). Este objetivo está alineado con la visión de la UE para una economía baja en carbono y reforzado por el Pacto Verde Europeo, que busca transformar la economía de la UE para lograr una sostenibilidad integral.

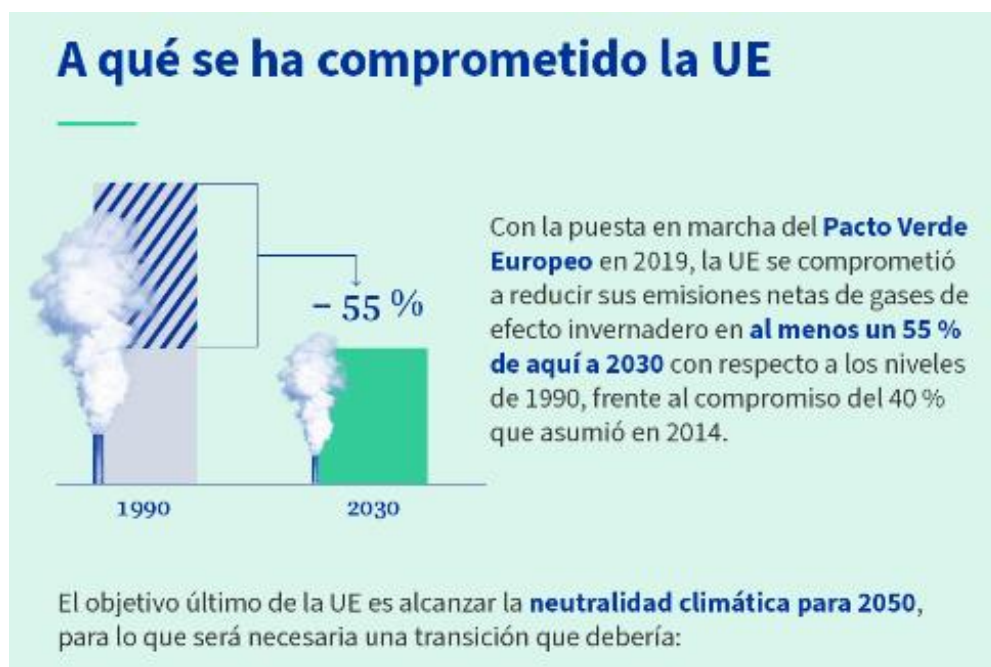
Figura 5 Compromisos UE estrategia Net Zero.



Nota: El gráfico representa los compromisos de la UE con la estrategia Net Zero desde su acuerdo en 2021. Tomado *Green Building Council España (GBCE, 2023)*.

El Pacto Verde Europeo de 2019 es otra iniciativa crucial que establece un objetivo de alcanzar la neutralidad climática para 2050. Este pacto promueve una economía más eficiente en el uso de los recursos y busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la expansión de las energías renovables y la mejora de la eficiencia energética (Comisión Europea, 2019).

Figura 6 Compromiso UE pacto verde europeo.



Nota: El gráfico representa el compromiso de la UE con el Pacto Verde Europeo desde su consolidación en 2019. *Tomado de Consejo de la UE (Consilium, 2023).*

La Estrategia de Energía Limpia para Todos los europeos de 2016 también destaca la importancia de las energías renovables en la creación de un mercado energético integrado y sostenible. Este marco estratégico promueve la transición hacia un sistema energético más eficiente y menos dependiente de los combustibles fósiles, apoyando la integración de las energías renovables en el mercado energético europeo (Comisión Europea, 2016).

En resumen, el marco legal de la UE en materia de energías renovables ha evolucionado de manera constante y adaptativa, reflejando un compromiso creciente con la sostenibilidad y la transición energética. A través de directivas y acuerdos internacionales, la UE ha establecido una base sólida para el desarrollo de las energías renovables, abordando tanto las oportunidades como los desafíos que han surgido en el camino hacia un futuro energético más verde y robusto.

7. DISEÑO METODOLÓGICO.

7.1 Definición del Alcance y Objetivos de la Revisión

La definición del alcance y los objetivos de la revisión es un paso esencial para establecer una base sólida para el estudio. Primero, es necesario precisar los límites del tema, enfocándose en soluciones técnicas basadas en energías renovables que pueden contribuir a la reducción de la dependencia de Europa del gas natural ruso. La formulación de preguntas de investigación clave guiará el proceso, tales como: ¿Cuáles son las principales soluciones técnicas propuestas? ¿Qué impacto han tenido estas soluciones en términos de sostenibilidad y seguridad energética? Estas preguntas orientarán la revisión y asegurarán que se aborden los aspectos cruciales de la transición energética hacia fuentes renovables.

7.2 Búsqueda y Selección de la Literatura

La búsqueda y selección de la literatura involucran identificar fuentes de información adecuadas que incluyan bases de datos académicas y literatura gris. Se utilizarán plataformas como IEEE Xplore, ScienceDirect y Google Scholar, además de informes técnicos y documentos de políticas. Los criterios de inclusión y exclusión deben definirse claramente para garantizar que los estudios seleccionados sean relevantes en términos de temporalidad, geografía y temática. En este contexto, se dará prioridad a los estudios publicados en los últimos 10 años sobre energías renovables en Europa. Para encontrar literatura relevante, se desarrollará una lista de palabras clave y se aplicarán estrategias de búsqueda específicas para obtener información pertinente.

7.3 Revisión y Análisis de la Literatura

La revisión y el análisis de la literatura requieren una lectura crítica detallada para evaluar la calidad y la relevancia de los estudios seleccionados. Es importante prestar atención a la metodología utilizada, los resultados obtenidos y las conclusiones de cada estudio. Los estudios se agruparán en función de temas comunes, como tipos de energías renovables, impactos socioeconómicos y políticas energéticas. Se utilizarán técnicas como el análisis temático para identificar patrones y tendencias emergentes. Además, se evaluará el impacto reportado de las soluciones técnicas en términos de sostenibilidad, seguridad energética y cumplimiento de compromisos climáticos, lo que ayudará a medir la efectividad de las propuestas analizadas.

7.4 Identificación de Lagunas y Áreas de Futuras Investigaciones

Identificar lagunas en la literatura existente es fundamental para señalar áreas que requieren más investigación. Se buscarán vacíos o áreas de contradicción en la investigación actual que ofrezcan oportunidades para estudios futuros. Las recomendaciones se centrarán en proponer áreas específicas para investigaciones futuras que podrían mejorar la comprensión y la implementación de soluciones técnicas basadas en energías renovables. Este enfoque permitirá abordar los desafíos actuales y contribuir al desarrollo de estrategias efectivas para reducir la dependencia de Europa del gas natural ruso.

7.5 Tipo de Investigación

Es una monografía de revisión bibliográfica con un enfoque cualitativo, centrada en analizar cómo las tecnologías renovables pueden mitigar la crisis energética en Europa, particularmente en lo que respecta al gas natural. Se investiga el impacto de estas tecnologías en la seguridad energética y el cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales, con especial énfasis en cómo pueden ayudar a reducir la dependencia

7.6 Enfoque de Investigación

El enfoque de investigación es cualitativo y se basa en la obtención y analizar y sintetizar la información disponible en diferentes fuentes bibliográficas. Identificando temas recurrentes y brechas en la literatura existente.

7.7 Hipótesis, Variables E Indicadores.

7.7.1. Hipótesis General.

La implementación de tecnologías renovables, como la energía eólica, solar, biomasa y geotérmica, puede mitigar la crisis energética en Europa al reducir la dependencia del gas natural y contribuir al cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales.

7.7.2. Hipótesis Específica.

La transición hacia energías renovables disminuye la dependencia del gas natural en comparación con las fuentes de energía tradicionales.

Las tecnologías renovables tienen un impacto positivo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo a la seguridad energética y el cumplimiento de compromisos climáticos.

Los costos de implementación y operación de las tecnologías renovables han disminuido, lo que las hace más competitivas frente al gas natural.

7.7.3. Variables e Indicadores.

Tabla 1 . Variables e indicadores de la investigación

Tipo de Variable	Variable	Indicador
Independiente	Tipo de Tecnología Renovable	Tipo de tecnología implementada (eólica, solar, biomasa, geotérmica).
	Políticas de Apoyo Gubernamental	Número y tipo de subsidios, tarifas de alimentación, y regulaciones gubernamentales.
	Inversión en I+D	Monto de inversión en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.
Dependiente	Reducción de Dependencia del Gas Natural	Proporción de consumo de gas natural en comparación con otras fuentes de energía.
	Reducción de Emisiones de GEI	Porcentaje de reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero.
	Costos de Implementación y Operación	Costo nivelado de electricidad (LCOE) para diferentes tecnologías renovables.
	Cumplimiento de Compromisos Climáticos	Cumplimiento de metas de reducción de emisiones según el Acuerdo de París y Protocolo de Kioto.

Fuente: (Propia del autor, 2024)

7.8 Universo

El universo incluye todos los países de la Unión Europea afectados por la crisis energética del gas natural y que han implementado o están considerando soluciones basadas en energías renovables. Este universo abarca tanto la población general como la muestra específica de países que enfrentan desafíos significativos en términos de seguridad energética y dependencia del gas natural.

7.9 Población

Como se aprecia en la tabla 2 la población está constituida por los países de la Unión Europea que han desarrollado políticas para la transición energética en respuesta a la crisis del gas natural. La población incluye países que han reportado datos relevantes sobre la adopción de tecnologías renovables y su impacto en la seguridad energética y el cumplimiento de los compromisos climáticos.

Tabla 2. Población Unión Europea.

País	Datos Relevantes
Alemania	Alta adopción de energía eólica y solar; reducción significativa de emisiones de GEI; política de subsidios y tarifas de alimentación.
España	Fuerte crecimiento en energía solar y eólica; reducción de emisiones; metas de energía renovable avanzadas.
Suecia	Liderazgo en el uso de biomasa; alta proporción de energía renovable en el mix energético; reducción de emisiones de GEI.
Italia	Inversión en energía geotérmica; costos iniciales altos pero bajos costos operativos; contribución significativa a la reducción de GEI.
Francia	Avances en energía nuclear y renovables; políticas para la reducción de emisiones y el cumplimiento de compromisos climáticos.
Países Bajos	Desarrollo de parques eólicos marinos; políticas de subsidios; esfuerzos por reducir emisiones de GEI.
Dinamarca	Alto porcentaje de energía eólica; liderazgo en tecnología de turbinas eólicas; políticas de apoyo a energías renovables.
Finlandia	Uso de biomasa y energías renovables; objetivos ambiciosos para reducir emisiones y aumentar la participación de renovables.

Fuente: (Propia del autor, 2024)

7.10 Muestra

La muestra es un subconjunto de la población, seleccionado para el estudio. Incluye países específicos como Alemania, España, Suecia e Italia, que han sido prominentes en la adopción de tecnologías renovables y que presentan datos relevantes sobre su impacto en la crisis del gas natural, la reducción de emisiones y el cumplimiento de compromisos climáticos.

7.11 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Se utilizarán técnicas de recolección de datos cualitativos, como análisis de informes gubernamentales y estudios previos, para obtener información sobre la eficiencia, costos y el impacto de las tecnologías renovables en la crisis energética del gas natural. Los instrumentos incluirán bases de datos de instituciones energéticas, y reportes de agencias internacionales y organismos gubernamentales.

7.12 Procedimiento y Fases

Se relaciona en la tabla 3 una visión clara de las etapas y fases del proyecto, detallando las actividades específicas de cada fase.

Estas fases representan un enfoque general, y es importante tener en cuenta que el proceso de elaboración de una tesis puede variar según la disciplina y las normas específicas de la institución académica.

Tabla 3. Etapas y fases de la investigación.

Etapa	Fase	Factor de éxito
Preparación y Revisión	Revisión de Literatura	Analizar estudios y publicaciones sobre la crisis energética del gas natural en Europa. Evaluar el impacto de las tecnologías renovables en el contexto de la crisis energética.
Recolección de Datos	Obtención de Datos	Recolectar datos actuales sobre la eficiencia y costos de implementación de tecnologías renovables en países afectados por la crisis del gas natural.
Análisis y Evaluación	Análisis de Datos	Evaluar la reducción de dependencia del gas natural. Evaluar la eficiencia de las tecnologías renovables. Revisar el cumplimiento de compromisos climáticos.
Interpretación y Conclusiones	Interpretación de Resultados	Interpretar los datos en relación con las hipótesis. Elaborar conclusiones sobre el impacto de las tecnologías renovables en la crisis energética.
Documentación y Presentación	Presentación de resultados	Redactar el documento final con hallazgos y conclusiones. Presentar el documento final (monografía) para mitigar la crisis energética mediante el uso de energías renovables.

Fuente: (Propia del autor, 2024)

8. RESULTADOS

8.1 Objetivo No.1

Clasificar la literatura existente sobre las características técnicas y políticas de la dependencia de Europa del gas natural ruso y los desafíos asociados a la crisis energética actual.

8.1.1 Antecedentes y Contexto Histórico.

La crisis energética actual en Europa ha puesto de manifiesto la vulnerabilidad de la región frente a su dependencia del gas natural ruso. Desde la Guerra Fría, Europa ha establecido una sólida relación energética con Rusia, que ha evolucionado con el tiempo (Stern, 2005). Durante los años 1970, la Unión Soviética comenzó a exportar gas natural a Europa Occidental, sentando las bases para una dependencia energética duradera (Goldthau, 2008). La construcción de infraestructuras clave como los gasoductos Yamal y Nord Stream consolidó esta dependencia, facilitando el flujo continuo de gas desde Rusia (Victor, 2008).

La caída del Muro de Berlín y la disolución de la Unión Soviética en 1991 llevaron a Rusia a buscar nuevas formas de fortalecer su economía a través de la exportación de gas, mientras que Europa continuó dependiendo del gas ruso en busca de seguridad energética (Pirani, 2016). Sin embargo, la relación no ha estado exenta de conflictos, como las crisis del gas entre Rusia y Ucrania en 2006 y 2009, que afectaron a varios países europeos y subrayaron la vulnerabilidad de Europa a las interrupciones en el suministro (Stern, 2009). Estos eventos impulsaron a la Unión Europea a diversificar sus fuentes de energía e invertir en energías renovables y nuevos proveedores (European Commission, 2014).

En años recientes, la anexión de Crimea por parte de Rusia en 2014 y las sanciones internacionales han complicado aún más la relación, aunque Europa sigue siendo un importante mercado para el gas ruso, y Rusia depende de estos ingresos para su economía (Henderson & Mitrova, 2020; Smith, 2016).

8.1.2 Aspectos Técnicos.

Las infraestructuras de gas en Europa y Rusia son fundamentales para comprender la dependencia energética. Los gasoductos como Nord Stream y Yamal, así como las terminales de gas natural licuado (GNL), desempeñan un papel crucial en el suministro de gas a Europa (Goldthau, 2008). La oferta y demanda de gas natural en Europa está intrínsecamente vinculada a la contribución de Rusia, que sigue siendo uno de los principales proveedores del continente (Victor, 2008).

8.1.3 Aspectos Sociales y Económicos

La dependencia del gas ruso tiene importantes impactos sociales y económicos. Las fluctuaciones en los precios del gas afectan a hogares y empresas en Europa, generando preocupaciones sobre la seguridad energética y el riesgo de cortes de su suministro (Stern, 2009). La equidad en el acceso a los recursos energéticos también se ve afectada, especialmente en diferentes regiones y clases sociales.

Económicamente, la dependencia del gas ruso influye en la economía europea mediante costos energéticos y competitividad industrial (Pirani, 2016). Las inversiones en infraestructura energética y las políticas relacionadas también se ven moldeadas por esta dependencia, afectando el empleo en sectores que dependen del gas (European Commission, 2014).

8.1.4 Desafíos y Oportunidades

Europa enfrenta varios desafíos debido a su dependencia del gas ruso, como la vulnerabilidad a las fluctuaciones de precios y los riesgos asociados a posibles interrupciones en el suministro (Stern, 2009). Sin embargo, también hay oportunidades para diversificar las fuentes de energía, mediante inversiones en energías renovables y la búsqueda de nuevos proveedores de gas (European Commission, 2014).

8.1.5 Aspectos Políticos

Tabla 4. Cuadro de políticas ambientales países de la unión europea.

País	Política Principal	Medidas de Diversificación	Inversiones en Infraestructura	Incentivos para Energías Renovables	Cooperación Internacional
Alemania	Energiewende	Gas natural licuado (GNL)	Terminales de GNL, modernización de redes	Subsidios, tarifas de alimentación	Acuerdos de importación con nuevos proveedores
España	Fomento de Energías Renovables	Diversificación de proveedores de gas	Terminales de GNL, infraestructura solar y eólica	Subsidios, tarifas de alimentación	Acuerdos de suministro con países de otros continentes
Suecia	Autosuficiencia Energética	Maximización de recursos forestales	Almacenamiento de energía, modernización de infraestructuras	Incentivos para biomasa y energía hidroeléctrica	Proyectos de cooperación en almacenamiento de energía
Italia	Diversificación de Proveedores	Desarrollo geotérmico	Infraestructura de GNL, investigación en geotermia	Subsidios fiscales, incentivos para I+D geotérmica	Acuerdos de gas con proveedores alternativos

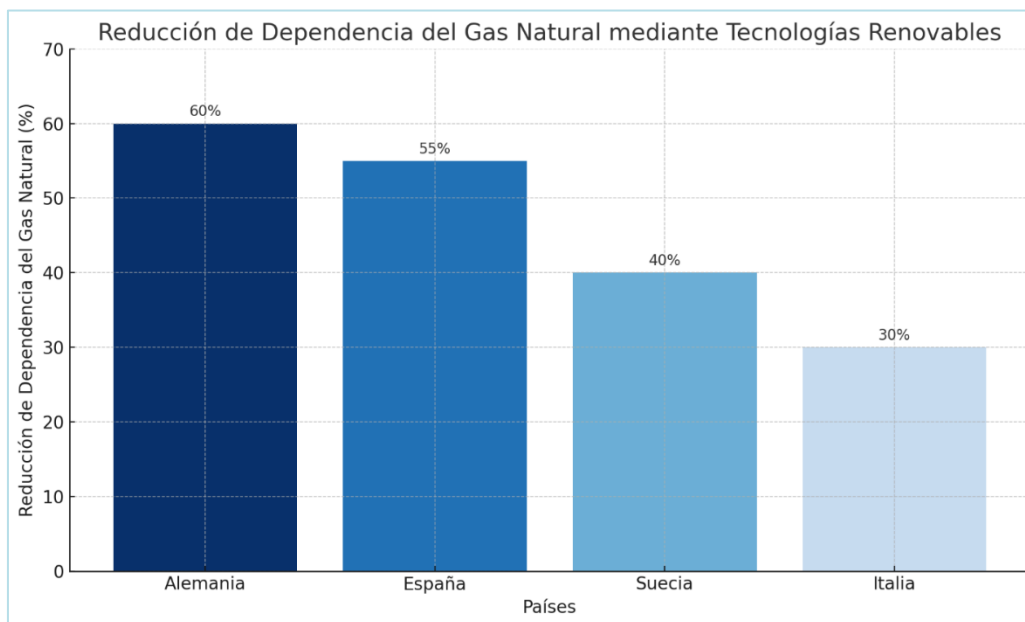
Fuente: (Propia de autor, 2024)

Como logra apreciar en la tabla 4 la crisis energética actual ha llevado a los países de la Unión Europea a adoptar diversas políticas para asegurar su seguridad energética y reducir la dependencia del gas ruso. Este desafío ha sido exacerbado por las tensiones geopolíticas y la inestabilidad en las regiones productoras de gas. Como resultado, los

países europeos han implementado una variedad de estrategias para diversificar sus fuentes de energía, fortalecer sus infraestructuras y promover el uso de energías renovables. Estas políticas buscan mitigar los riesgos asociados con la dependencia del gas ruso y garantizar un suministro energético más seguro y sostenible a largo plazo.

Alemania ha implementado la política de "Energiewende", centrada en diversificar las fuentes de energía y acelerar la transición hacia energías renovables. Este enfoque ha llevado al cierre de plantas nucleares y a un aumento en las inversiones en infraestructura de gas natural licuado (GNL) para diversificar proveedores. La estrategia alemana también incluye el fortalecimiento de incentivos para la energía solar y eólica, con el objetivo de aumentar la capacidad instalada de energías renovables. Estas medidas buscan reducir la dependencia del gas ruso y garantizar un suministro energético más seguro (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2021).

Figura 7 Evolución de las importaciones de gas de la Unión Europea.



Nota: La grafica representa cómo Alemania, España, Suecia e Italia han adoptado diversas tecnologías renovables para mitigar la crisis energética del gas natural, logrando significativas reducciones en su dependencia. Alemania y España han incrementado su capacidad de generación de energía solar y eólica, mientras que Suecia ha impulsado la biomasa e Italia ha desarrollado la energía geotérmica. *Fuente propia del autor 2024.*

De acuerdo con la figura 7 se puede deducir que las soluciones tecnológicas adoptadas por países europeos para mitigar la crisis energética del gas natural han sido variadas y estratégicamente implementadas. Alemania y España han enfocado sus esfuerzos en la energía solar y eólica, incrementando significativamente su capacidad de generación y reduciendo su dependencia del gas natural. Suecia ha aprovechado sus recursos forestales para impulsar la biomasa, mientras que Italia ha desarrollado la energía geotérmica en regiones como Toscana. Estas estrategias han permitido no solo una reducción en el consumo de gas natural, sino también avances tecnológicos y el desarrollo de nuevas industrias sostenibles. La diversificación de fuentes energéticas y la inversión en tecnologías renovables son claves para enfrentar la crisis energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

En el caso de España, se han reforzado sus políticas de energía renovable y ha buscado diversificar su suministro mediante la cooperación internacional. Con una alta dependencia del gas argelino, España ha construido terminales de GNL y ha firmado acuerdos con proveedores de otros continentes. Adicionalmente, se han implementado subsidios y tarifas de alimentación para promover la adopción de energía solar y eólica, aprovechando las condiciones climáticas favorables del país. Estas políticas están diseñadas para diversificar las fuentes de suministro y reducir la vulnerabilidad energética de España (Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge, 2021).

Por otro lado, Suecia, ha orientado sus políticas hacia la autosuficiencia energética, maximizando el uso de recursos forestales y promoviendo tecnologías de biomasa. Además, ha invertido en proyectos de almacenamiento de energía y en la modernización de su infraestructura para facilitar una mayor integración de energías renovables. Suecia ha fortalecido su capacidad en biomasa y energía hidroeléctrica, lo que le permite reducir su dependencia del gas importado y avanzar hacia una matriz energética más sostenible (Swedish Energy Agency, 2021).

Mientras que Italia, ha buscado diversificar sus proveedores de gas y ha desarrollado su potencial geotérmico. Las inversiones en infraestructura de GNL y en tecnologías geotérmicas, junto con incentivos fiscales, han sido esenciales para enfrentar la crisis energética. Italia también ha fomentado la investigación y desarrollo en tecnologías geotérmicas avanzadas, estableciendo acuerdos con proveedores alternativos de gas. Estas iniciativas buscan asegurar una fuente de energía más estable y diversificada (Ministry of Economic Development, 2021).

En Alemania ha implementado la política de "Energiewende", centrada en diversificar las fuentes de energía y acelerar la transición hacia energías renovables. Este enfoque ha llevado al cierre de plantas nucleares y un incremento en las inversiones en infraestructura de gas natural licuado (GNL) para diversificar proveedores (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2021).

Cabe destacar que, España ha fortalecido sus políticas de energía renovable y cooperado internacionalmente para diversificar su suministro. Con una alta dependencia del gas argelino, España ha construido terminales de GNL y firmado acuerdos con proveedores de otros continentes, además de incentivar la energía solar y eólica (Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge, 2021).

Por su parte, Suecia, ha orientado sus políticas hacia la autosuficiencia energética, maximizado el uso de recursos forestales y promovido tecnologías de biomasa. También ha invertido en proyectos de almacenamiento de energía y modernización de infraestructura para integrar más energías renovables (Swedish Energy Agency, 2021).

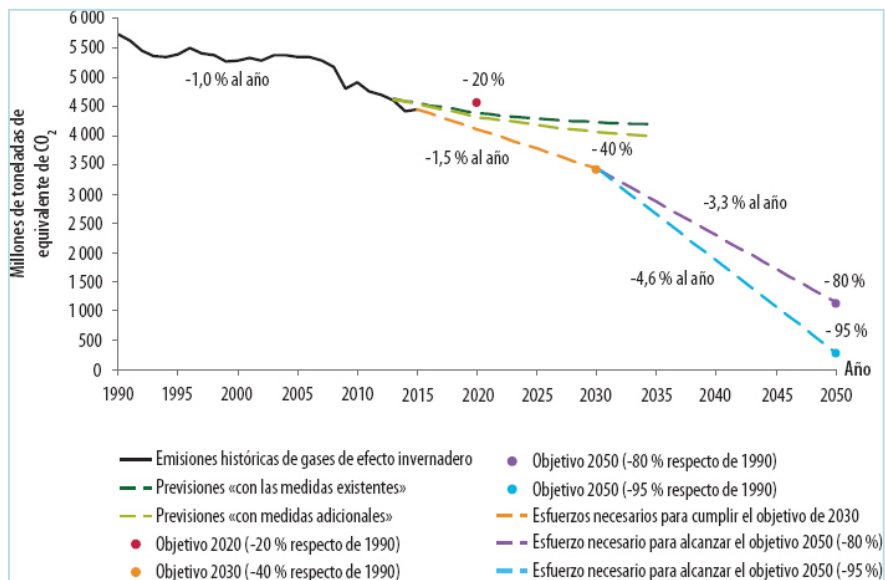
En la misma línea, Italia, ha diversificado sus proveedores de gas y desarrollado su potencial geotérmico. Las inversiones en infraestructura de GNL y en tecnologías geotérmicas, así como los incentivos fiscales, han sido claves para enfrentar la crisis energética (Ministry of Economic Development, 2021).

8.2 Objetivo No.2

Identificar estudios y publicaciones que evalúan diferentes soluciones técnicas basadas en energías renovables, que han sido propuestas o implementadas en los últimos años.

La identificación y evaluación de soluciones técnicas basadas en energías renovables incluye dos aspectos fundamentales. En primer lugar, se realiza la selección de tecnologías viables, lo que implica identificar tecnologías renovables (eólica, solar, biomasa, geotérmica) que pueden ser implementadas en Europa. A continuación, se lleva a cabo una comparación de soluciones, que consiste en una evaluación comparativa de diferentes técnicas en términos de eficiencia, costo, tiempo de implementación y escalabilidad. Estos análisis permiten determinar la viabilidad y el rendimiento de cada tecnología en el contexto europeo.

Figura 8 Tendencias, previsiones y metas y objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE.



Nota: La grafica representa las tendencias, previsiones y metas, y las reducciones de emisiones necesarias para alcanzar los objetivos. También se muestra que las metas y objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 y 2050 no se alcanzarán sin esfuerzos adicionales considerables. Tomado de *Análisis Panorámico (Tribunal de Cuentas Europeo, 2017)*.

De acuerdo con la figura 8 se releva que las políticas de fomento de energías renovables y la transición hacia fuentes de energía más limpias han resultado en una significativa reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Europa. Alemania y España están bien posicionados para alcanzar sus objetivos de reducción de emisiones bajo el Acuerdo de París, gracias a sus agresivas políticas en energía solar y eólica. Suecia e Italia también han contribuido a la reducción de emisiones mediante la biomasa y la energía geotérmica, respectivamente.

Además, la Unión Europea en su conjunto ha superado sus compromisos bajo el Protocolo de Kioto y ha establecido objetivos ambiciosos bajo el Acuerdo de París. La inversión en tecnologías de bajo carbono no solo reduce las emisiones, sino que también promueve la innovación tecnológica y el desarrollo sostenible, fortaleciendo la seguridad energética de la región.

8.2.1 Selección de Tecnologías Viables

La transición hacia fuentes de energía renovables es una prioridad clave para Europa en su esfuerzo por reducir la dependencia del gas natural ruso y mejorar la seguridad energética. La identificación de tecnologías renovables viables es esencial para lograr estos objetivos. Entre las opciones más prometedoras se encuentran la energía eólica, solar, biomasa y geotérmica.

La energía eólica ha demostrado ser una de las tecnologías renovables más viables y efectivas en Europa. Con una capacidad instalada de más de 200 GW, Europa lidera el mundo en la producción de energía eólica (WindEurope, 2021). Países como Alemania, España y Dinamarca han hecho inversiones significativas en parques eólicos tanto terrestres como marinos. Los avances tecnológicos en turbinas eólicas y la economía de escala han reducido los costos, haciendo que la energía eólica sea competitiva con los combustibles fósiles (IRENA, 2020).

La energía solar fotovoltaica (FV) es otra tecnología renovable viable que ha experimentado un crecimiento exponencial en Europa. El costo de los paneles solares ha disminuido drásticamente en la última década, haciendo que la energía solar sea una opción económicamente atractiva para muchos países europeos (Fraunhofer ISE, 2020). España, Italia y Alemania son líderes en la adopción de tecnología solar FV, con políticas de apoyo como tarifas de alimentación y subsidios que han incentivado la instalación de sistemas solares en tejados y plantas solares a gran escala (Eurostat, 2021).

La biomasa también juega un papel importante en el mix energético renovable de Europa. La conversión de residuos agrícolas y forestales en energía utilizable ha permitido a varios países, como Suecia y Finlandia, aprovechar sus recursos naturales para generar electricidad y calor (AEBIOM, 2019). La biomasa es especialmente valiosa en regiones rurales donde otros recursos renovables pueden ser menos viables. Además, la integración de plantas de biomasa con otras formas de generación de energía renovable puede mejorar la estabilidad y la eficiencia del sistema energético (Scarlat et al., 2015).

Aunque menos extendida que la eólica y la solar, la energía geotérmica ofrece un recurso renovable consistente y de bajo impacto ambiental. Islandia es un ejemplo destacado de cómo la energía geotérmica puede satisfacer una parte significativa de las necesidades energéticas de un país (Gudmundsson, 2020). En el continente europeo, Italia y Turquía también han explotado recursos geotérmicos para la generación de electricidad y calefacción urbana. La energía geotérmica tiene el potencial de proporcionar una fuente de energía fiable y continua, complementando otras formas intermitentes de energía renovable (European Geothermal Energy Council, 2019).

La evaluación comparativa de diferentes soluciones técnicas para la generación de energía renovable es crucial para determinar las opciones más viables en términos de eficiencia, costo, tiempo de implementación y escalabilidad. A continuación, se presenta un análisis comparativo de la energía eólica, solar, biomasa y geotérmica en estos aspectos clave.

La eficiencia de una tecnología de generación de energía se refiere a su capacidad para convertir recursos naturales en energía utilizable. La energía eólica y solar tienen eficiencias variables dependiendo de las condiciones climáticas y tecnológicas. La energía eólica moderna puede alcanzar eficiencias de hasta el 45% en condiciones óptimas, mientras que la energía solar fotovoltaica tiene una eficiencia de conversión típica de alrededor del 15-20% (IRENA, 2019). La biomasa, aunque menos eficiente en términos de conversión directa de energía, ofrece una eficiencia global mayor cuando se considera el uso de residuos y subproductos (Scarlat et al., 2015). La energía geotérmica, por su parte, tiene una alta eficiencia térmica debido a la constancia de la fuente de calor, alcanzando eficiencias de conversión del 10-23% para generación eléctrica (EGEC, 2019).

El costo de implementación y operación de las tecnologías de energía renovable es un factor determinante en su adopción. La energía solar fotovoltaica ha visto una reducción significativa en costos, llegando a ser una de las fuentes de energía más baratas con un costo nivelado de electricidad (LCOE) de alrededor de \$0.05/kWh (Fraunhofer ISE, 2020). La energía eólica también ha reducido costos, especialmente en el ámbito de los parques eólicos marinos, con un LCOE cercano a \$0.07/kWh (WindEurope, 2021).

La biomasa tiene un costo más variable, dependiente del tipo de biomasa y la logística asociada, con un LCOE promedio de \$0.06-0.10/kWh (AEBIOM, 2019). La energía geotérmica, aunque inicialmente costosa debido a la perforación y exploración, puede tener costos operativos muy bajos y un LCOE de alrededor de \$0.10-0.15/kWh (EGEC, 2019).

El tiempo necesario para implementar una tecnología de energía renovable varía considerablemente. Los proyectos solares pueden ser implementados rápidamente, a menudo en menos de un año para instalaciones a gran escala (Fraunhofer ISE, 2020). Los parques eólicos terrestres típicamente requieren de 2 a 3 años desde la planificación hasta la operación, mientras que los parques eólicos marinos pueden tardar entre 5 a 7

años debido a los desafíos logísticos y técnicos (WindEurope, 2021). Los proyectos de biomasa pueden tomar entre 1 a 3 años, dependiendo del tamaño y la complejidad de la instalación (Scarlat et al., 2015). La energía geotérmica tiene uno de los tiempos de implementación más largos, debido a la necesidad de exploración y perforación, con un período de desarrollo de 4 a 7 años (EGEC, 2019).

La escalabilidad de una tecnología se refiere a su capacidad para ser ampliada y replicada en diferentes entornos y escalas. La energía solar es altamente escalable, desde pequeñas instalaciones domésticas hasta grandes plantas solares. La energía eólica también es escalable, pero requiere sitios específicos con buenas condiciones de viento (IRENA, 2019). La biomasa puede ser escalada en función de la disponibilidad de recursos locales y tiene la ventaja de ser implementable en áreas rurales y urbanas (AEBIOM, 2019). La energía geotérmica es menos escalable debido a la necesidad de ubicaciones geológicas específicas, pero puede ser muy efectiva en regiones con recursos geotérmicos adecuados (EGEC, 2019).

Tabla 5. Comparación de tecnologías en energías renovables.

Tecnología	Eficiencia	Costo KWh	Tiempo de Implementación	Escalabilidad
Eólica	30-45%	0.07	2-7 años	Alta en sitios con buen recurso eólico
Solar	15-20%	0.05	Mayor 1 año	Muy alta
Biomasa	20-30% (global)	0.06-0.10	1-3 años	Moderada a alta
Geotérmica	10-23%	0.10-0.15	4-7 años	Baja a moderada en regiones específicas

Fuente: (Propia de autor, 2024).

Como se aprecia en la tabla 5 la transición hacia fuentes de energía renovables es esencial para Europa. Para lograr este objetivo, es crucial identificar y evaluar tecnologías viables, como la energía eólica, solar, biomasa y geotérmica.

Mientras que, Alemania ha sido un líder en la adopción de tecnologías renovables, especialmente en energía eólica y solar. La eficiencia de las instalaciones eólicas es alta gracias a las avanzadas tecnologías de turbinas y la ubicación en áreas con buenos recursos eólicos, como el Mar del Norte. Los costos de la energía solar han disminuido significativamente, con un LCOE de aproximadamente \$0.05/kWh, gracias a subsidios y tarifas de alimentación (Fraunhofer ISE, 2020). Los tiempos de implementación para proyectos solares son cortos, mientras que los parques eólicos marinos pueden tardar hasta 7 años. La escalabilidad en ambos sectores es alta debido a las robustas infraestructuras y el apoyo gubernamental.

En España, la alta irradiación solar ofrece una ventaja competitiva, con un costo nivelado de electricidad de alrededor de \$0.04/kWh, uno de los más bajos en Europa (IEA, 2021). Los proyectos solares se implementan rápidamente, en menos de un año. España también tiene una capacidad significativa en energía eólica, especialmente en regiones como Galicia y Castilla-La Mancha, con alta escalabilidad impulsada por políticas de incentivos y la disponibilidad de recursos naturales.

Suecia se destaca en la utilización de biomasa y energía hidroeléctrica. La eficiencia de las plantas de biomasa es notable, especialmente cuando se utilizan residuos forestales, un recurso abundante en el país. El costo de generación de energía a partir de biomasa varía entre \$0.06 y \$0.09/kWh (AEBIOM, 2019). Los proyectos de biomasa pueden ser implementados en 1 a 2 años, con una alta escalabilidad debido a la disponibilidad de recursos forestales y el apoyo a las tecnologías de conversión eficientes.

Así mismo, en Italia se ha aprovechado su potencial geotérmico, especialmente en la región de Toscana. Aunque los costos iniciales de perforación y exploración son elevados, los costos operativos son bajos, con un LCOE de \$0.10-0.15/kWh (European Geothermal Energy Council, 2019). El tiempo de implementación es largo, de 4 a 7 años, y la escalabilidad está limitada a regiones con recursos geotérmicos adecuados. Italia no ha aprovechado completamente su capacidad geotérmica en comparación con otros países europeos, a pesar de haber iniciado este proceso antes (Piensa Geotermia, 2019).

Tabla 6. Comparación de tecnologías renovables en la Unión Europea.

País	Tecnología	Eficiencia (%)	Tiempo de Implementación	Escalabilidad
Alemania	Eólica	30-45	2 – 7 años	Alta en sitios con buen recurso eólico
	Solar	15-20	1 – 2 años	Muy alta
España	Solar	15-20	1 – 2 años	Muy alta
	Eólica	30-40	2 – 5 años	Alta
Suecia	Biomasa	20-30	1 – 2 años	Alta en áreas forestales
Italia	Geotérmica	10-23	4 – 7 años	Baja a moderada en regiones específicas

Fuente: (Propia de autor, 2024)

De acuerdo con la tabla 6, la comparación de tecnologías renovables en la Unión Europea revela que Alemania y España destacan en energía eólica y solar, mostrando alta eficiencia y escalabilidad con costos competitivos. Suecia sobresale en biomasa, con eficiencia notable y costos moderados, mientras que Italia se enfoca en geotermia, que, aunque eficiente, tiene altos costos iniciales y una escalabilidad limitada. En general, cada país maximiza su potencial en función de sus recursos naturales y políticas de apoyo, con Alemania y España liderando en tecnologías con mayor flexibilidad y rapidez de implementación.

8.3 Objetivo No.3

Evaluar el impacto reportado de estas soluciones en términos de seguridad energética y cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales.

8.3.1 Cumplimiento de los Compromisos Climáticos Internacionales

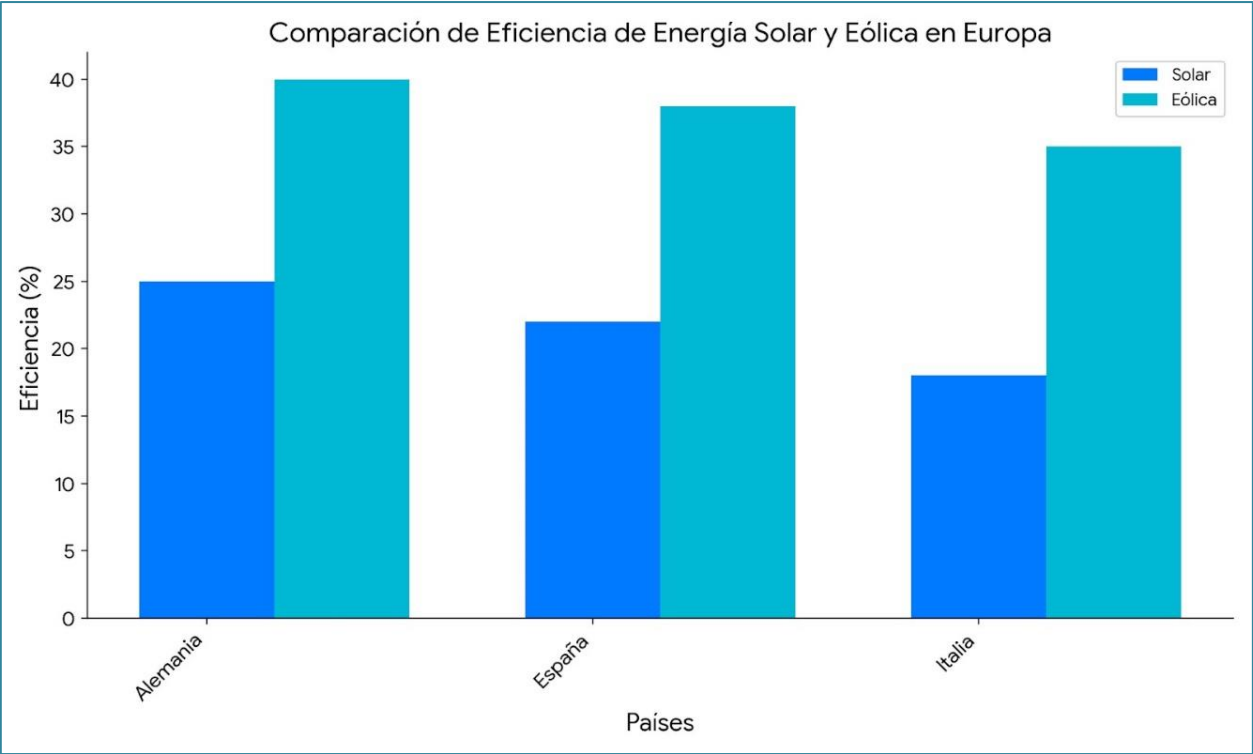
El cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales es esencial para los países europeos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Las políticas de fomento de energías renovables y la transición hacia fuentes de energía más limpias han sido cruciales para lograr estos objetivos. En Alemania, por ejemplo,

la implementación de políticas agresivas en energía solar y eólica ha resultado en una reducción significativa de las emisiones de GEI. Según el Ministerio Federal de Medio Ambiente de Alemania, las emisiones de GEI del país disminuyeron en un 39% en 2020 en comparación con los niveles de 1990, en gran parte debido a la expansión de las energías renovables y la disminución del uso del carbón (BMU, 2021).

Por otro lado, España también ha experimentado un crecimiento notable en su capacidad de generación de energía solar fotovoltaica y eólica. En 2020, el 44% de la electricidad en España provino de fuentes renovables, un avance considerable respecto a años anteriores (Red Eléctrica de España, 2021). Este progreso no solo contribuye a la reducción de las emisiones de GEI, sino que también apoya el objetivo de la Unión Europea de alcanzar la neutralidad climática para 2050.

La inversión en tecnologías de bajo carbono, como la biomasa en Suecia y la energía geotérmica en Italia, también juega un papel crucial en el cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales. Suecia, por ejemplo, ha liderado el uso de biomasa, aprovechando sus recursos forestales abundantes. La Agencia Sueca de Energía informa que más del 50% de la energía utilizada en Suecia en 2020 provino de fuentes renovables, con la biomasa siendo una parte significativa de esta transición (Swedish Energy Agency, 2021). En Italia, la inversión en energía geotérmica ha permitido a las plantas geotérmicas contribuir de manera importante a la reducción de las emisiones de GEI, mientras el país continúa desarrollando tecnologías geotérmicas avanzadas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de estas instalaciones (Italian Ministry of Economic Development, 2021).

Figura 9 Tendencias, previsiones y metas y objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE.



Nota: La grafica demuestra que la eficiencia de estas tecnologías es un indicador alentador del progreso que se está realizando en la transición hacia un futuro energético más sostenible. *Fuente propia del autor, 2024.*

De acuerdo con la figura 9 la eficiencia de las tecnologías renovables ha mejorado significativamente gracias a políticas de incentivos y subsidios. En Alemania, las tarifas de alimentación y subsidios para la energía solar y eólica han incrementado notablemente la eficiencia de estas tecnologías. España ha logrado eficiencias superiores al 20% en energía solar fotovoltaica debido a incentivos financieros y condiciones climáticas favorables.

Aunque los costos iniciales de implementación de tecnologías renovables pueden ser elevados, los costos operativos a largo plazo tienden a disminuir. La energía geotérmica en Italia, aunque inicialmente costosa, resulta competitiva a largo plazo debido a sus bajos costos operativos. En general, las inversiones en tecnologías renovables están

demostrando ser económicamente viables y eficientes, con costos nivelados de electricidad (LCOE) que compiten favorablemente con las fuentes de energía convencionales.

El cumplimiento de los compromisos climáticos, como el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, ha sido un objetivo central para la Unión Europea y sus estados miembros. Bajo el Protocolo de Kioto, la UE se comprometió a reducir sus emisiones de GEI en un 8% entre 2008 y 2012 en comparación con los niveles de 1990, un objetivo que fue superado con una reducción del 18% (European Environment Agency, 2016). El Acuerdo de París, adoptado en 2015, establece un marco para limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2°C por encima de los niveles preindustriales. Los países de la UE han presentado Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) ambiciosas, comprometiéndose a reducir sus emisiones de GEI en al menos un 55% para 2030 en comparación con los niveles de 1990. Este compromiso está respaldado por la implementación de políticas nacionales y regionales que fomentan el uso de energías renovables y tecnologías de bajo carbono (European Commission, 2020).

8.3.2 Evaluación de la Eficiencia y Costos de Implementación

La eficiencia de las tecnologías renovables ha mejorado considerablemente debido a las políticas de incentivos y subsidios. Estas políticas han promovido el desarrollo y la adopción de tecnologías avanzadas, optimizando los recursos locales y mejorando la eficiencia energética. En Alemania, las tarifas de alimentación (feed-in tariffs) y los subsidios para la energía solar y eólica han llevado a una notable mejora en la eficiencia de estas tecnologías. Según la Agencia Federal de Redes de Alemania, la capacidad instalada de energía solar y eólica en el país ha crecido significativamente, alcanzando eficiencias del 20-25% para la energía solar y del 30-45% para la energía eólica (BNetzA, 2020).

De manera similar, en España, la combinación de incentivos financieros y condiciones climáticas favorables ha contribuido a un aumento significativo en la eficiencia de la energía solar fotovoltaica. Los avances tecnológicos en paneles solares han permitido alcanzar eficiencias superiores al 20%, reduciendo los costos operativos a largo plazo y aumentando la viabilidad económica de los proyectos solares (IEA, 2021).

Aunque los costos iniciales de implementación de tecnologías renovables pueden ser altos, especialmente en proyectos de infraestructura como gas natural licuado (GNL) y energía geotérmica, los costos operativos a largo plazo tienden a disminuir con la adopción de tecnologías más eficientes y la expansión de capacidades renovables. Por ejemplo, la infraestructura de GNL requiere inversiones significativas en la construcción de terminales y plantas de regasificación. Sin embargo, una vez establecidas, estas instalaciones pueden operar con costos relativamente bajos, proporcionando una fuente de energía estable y diversificada (IEA, 2021).

Igualmente, en Italia, la energía geotérmica ha demostrado ser una inversión inicial costosa debido a los gastos de perforación y exploración. No obstante, los costos operativos son bajos una vez que las plantas están en funcionamiento, lo que las hace competitivas a largo plazo. Además, la eficiencia de las plantas geotérmicas ha mejorado con el uso de tecnologías avanzadas, reduciendo así los costos totales de generación de energía (EGEC, 2020).

Sin embargo, en Alemania, la reducción de costos de generación de energía solar y eólica mediante políticas de subsidios y tarifas de alimentación. En 2020, el costo nivelado de electricidad (LCOE) para la energía solar en Alemania se situó en aproximadamente \$0.05/kWh, mientras que para la energía eólica fue de alrededor de \$0.07/kWh (Fraunhofer ISE, 2020). Estos costos son competitivos en comparación con las fuentes de energía convencionales y reflejan la eficiencia mejorada de las tecnologías renovables. En contraste, los proyectos de energía geotérmica en Italia, aunque inicialmente costosos, tienen un LCOE de entre \$0.10 y \$0.15/kWh. Sin embargo, la

fiabilidad y la estabilidad de la generación de energía geotérmica compensan los costos iniciales elevados, especialmente en regiones con recursos geotérmicos abundantes (Italian Ministry of Economic Development, 2021).

Tabla 7. Comparación Eficiencia, Costos y Cumplimiento Climático por País.

Aspecto	Alemania	España	Suecia	Italia
Cumplimiento Climático	Reducción de GEI en 39% desde 1990	44% de electricidad renovable en 2020	Más del 50% de energía renovable con biomasa	Avance en energía geotérmica con costos elevados
Eficiencia	Solar: 20-25%, Eólica: 30-45%	Solar: >20%	Biomasa: 20-30% global	Geotérmica: 10-23%
Costo (\$/kWh)	Solar: \$0.05, Eólica: \$0.07	Solar: \$0.04, Eólica: \$0.06	Biomasa: \$0.06-0.09	Geotérmica: \$0.10-0.15
Tiempo de Implementación	Solar: <1 año, Eólica: 2-7 años	Solar: <1 año, Eólica: 2-5 años	Biomasa: 1-2 años	Geotérmica: 4-7 años
Escalabilidad	Alta en ambos sectores	Muy alta para solar y eólica	Alta en áreas forestales	Moderada a baja, limitada por recursos específicos

Fuente: (Propia de autor, 2024)

Como se puede apreciar en la tabla 7 las principales tecnologías de energía renovable en los países de la unión europea se centran en cuatro aspectos clave: eficiencia, costo, tiempo de implementación y escalabilidad. Cada columna presenta datos específicos para diferentes tecnologías (eólica, solar, biomasa, geotérmica) en cuatro países representativos (Alemania, España, Suecia, Italia). La tabla destaca las variaciones en la eficiencia de conversión energética, los costos nivelados de electricidad (LCOE), los tiempos necesarios para implementar proyectos y la capacidad de escalar estas tecnologías según las condiciones locales.

9. CONCLUSIONES

Esta monografía demuestra que la diversificación de fuentes energéticas es crucial para reducir la dependencia de Europa del gas natural ruso. Actualmente, una gran proporción del suministro energético europeo proviene del gas natural, lo que expone a los países a riesgos significativos en caso de interrupciones en el suministro o fluctuaciones en los precios. Esta dependencia también tiene implicaciones geopolíticas, dado que el gas natural ruso constituye una herramienta de influencia y poder para Rusia.

Las energías renovables, como la eólica, solar y biomasa, ofrecen alternativas viables que pueden integrarse efectivamente en los sistemas energéticos existentes. La energía eólica, por ejemplo, tiene un enorme potencial en regiones con altos índices de vientos constantes, como el Mar del Norte y ciertas áreas costeras de Europa. Los avances tecnológicos en aerogeneradores han incrementado la eficiencia y capacidad de producción de energía eólica, haciéndola una opción cada vez más competitiva.

La energía solar, por otro lado, es altamente adaptable y puede ser implementada tanto en instalaciones a gran escala como en sistemas distribuidos a nivel residencial y comercial. Países del sur de Europa, con altos niveles de radiación solar, pueden beneficiarse enormemente de esta fuente de energía. La capacidad de los sistemas fotovoltaicos para generar electricidad localmente reduce las pérdidas asociadas con el transporte de energía y puede proporcionar una mayor independencia energética a las comunidades.

De otro lado, el estudio destaca que los avances tecnológicos, especialmente en áreas como el almacenamiento de energía y las redes inteligentes, son cruciales para maximizar la eficiencia y la integración de las energías renovables en el suministro energético.

Actualmente, una de las principales barreras para la adopción masiva de energías renovables es la intermitencia inherente de fuentes como la solar y la eólica. La energía solar depende de la luz del día y las condiciones climáticas, mientras que la energía eólica varía según la velocidad del viento, lo que puede resultar en períodos de baja o nula producción.

Para abordar estos desafíos, las tecnologías de almacenamiento de energía juegan un papel vital. Los sistemas de almacenamiento, como las baterías de iones de litio y las tecnologías emergentes de almacenamiento de energía en estado sólido, permiten almacenar el exceso de energía generado durante los períodos de alta producción y liberarlo cuando la producción es baja. Esto no solo ayuda a estabilizar la red eléctrica, sino que también permite una utilización más eficiente de las energías renovables, reduciendo la dependencia de fuentes de energía fósil de respaldo.

Asimismo, la implementación de energías renovables depende en gran medida de políticas y regulaciones favorables que impulsen la inversión y el desarrollo de infraestructuras. Las políticas de incentivos fiscales, subsidios, tarifas de alimentación y metas concretas de energía renovable son herramientas eficaces para acelerar la adopción de tecnologías limpias.

Finalmente, una de las principales conclusiones es que la adopción de energías renovables mejora la seguridad energética al reducir la dependencia de importaciones de energía y diversificar las fuentes de suministro.

Esto disminuye la vulnerabilidad a interrupciones en el suministro y a fluctuaciones de precios en el mercado global, proporcionando a Europa una mayor autonomía energética y resiliencia ante crisis externas. En ese mismo sentido, La transición hacia las energías renovables tiene un impacto ambiental significativamente positivo; en donde la reducción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes no solo ayuda a combatir el cambio climático, sino que también mejora la calidad del aire y la salud pública.

10. RECOMENDACIONES

La crisis energética en Europa y la dependencia del gas natural ruso han puesto de manifiesto la necesidad urgente de diversificar las fuentes energéticas del continente. La elevada dependencia de Europa del gas natural proveniente de Rusia genera un desafío económico y geopolítico significativo. Aproximadamente el 40% del gas natural consumido en Europa proviene de Rusia, lo que se traduce en un costo diario de 118.000 millones de dólares (Agencia Internacional de la Energía, 2023). Los principales consumidores de gas natural ruso en Europa son Alemania, Italia, Francia y Turquía, seguidos por Holanda, Austria y Polonia (Eurostat, 2024).

Esta dependencia se hizo aún más evidente tras la incursión militar rusa en Ucrania el 24 de febrero de 2022, que resultó en una reducción significativa del suministro de gas hacia Europa, afectando directamente a la población civil con menos calefacción y disponibilidad energética (Eurostat, 2024).

En este contexto, se han desarrollado políticas de fomento de energías renovables y la transición hacia fuentes de energía más limpias, resultando en una significativa reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Europa. Alemania y España, gracias a sus agresivas políticas en energía solar y eólica, están bien posicionados para alcanzar sus objetivos de reducción de emisiones bajo el Acuerdo de París. Suecia e Italia también han contribuido a la reducción de emisiones mediante la biomasa y la energía geotérmica, respectivamente.

La Unión Europea en su conjunto ha superado sus compromisos bajo el Protocolo de Kioto y ha establecido objetivos ambiciosos bajo el Acuerdo de París, demostrando que la inversión en tecnologías de bajo carbono no solo reduce las emisiones, sino que también promueve la innovación tecnológica y el desarrollo sostenible, fortaleciendo así la seguridad energética de la región.

Es crucial que los países europeos diversifiquen sus fuentes de energía para reducir la dependencia del gas natural ruso. La inversión en energías renovables como la solar, eólica, geotérmica y biomasa debe ser prioritaria. Estos esfuerzos no solo mejorarán la seguridad energética, sino que también contribuirán al cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales.

Desarrollar infraestructuras adecuadas de almacenamiento de energía permitirá a los países europeos manejar mejor las fluctuaciones en la oferta y la demanda de energía, incluyendo la construcción de más instalaciones de almacenamiento de gas y la mejora de tecnologías de almacenamiento de energía renovable. La cooperación entre los estados miembros de la Unión Europea es esencial para desarrollar políticas energéticas conjuntas, intercambiar recursos y tecnologías, y crear una red energética interconectada que permita la transferencia de energía entre países en caso de crisis.

Finalmente, se debe aumentar la inversión en tecnologías de bajo carbono para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y cumplir con los objetivos del Acuerdo de París. Esto incluye el desarrollo de plantas de energía renovable, la modernización de la infraestructura existente y el fomento de la investigación y desarrollo en nuevas tecnologías energéticas. Asimismo, es esencial educar a la población sobre la importancia de la transición energética y cómo pueden contribuir a ella, a través de programas de concienciación y educación que aumenten el apoyo público y fomenten prácticas de consumo energético más sostenibles.

Estas recomendaciones y alternativas buscan no solo abordar la crisis energética actual, sino también construir una infraestructura energética más sostenible y resistente para el futuro. Al involucrar a la comunidad y proporcionar herramientas y conocimientos, se puede fomentar un cambio significativo hacia un modelo energético más seguro y ecológico, reduciendo la dependencia del gas natural ruso y promoviendo un desarrollo económico y medioambiental más sostenible.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Internacional de la Energía. (2023). IEA 50. Obtenido de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/227fc286-a3a7-41ef-9843-1352a1b0c979/Naturalgassupply-demandbalanceoftheEuropeanUnionin2023.pdf>
- Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA). (2023). Perspectivas de la Energía Renovable 2023. Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos.
- Agencia Nacional de Minería ANM. (2020). Atlas de energías renovables en Colombia. Obtenido de Agencia Nacional de Minería: <https://www.anm.gov.co/>
- Bloomberg. (28 de 07 de 2022). ¿Cómo Europa se volvió tan dependiente del gas de Rusia? El tiempo.
- BP. (2021). BP Statistical Review of World Energy. Obtenido de <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- Comisión europea. (2021). Consejo de la Unión europea. Obtenido de REPowerEU: Plan para reducir la dependencia de la UE del gas ruso: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/eu-recovery-plan/repowereu/#:~:text=El%20plan%20REPowerEU%20se%20basa,con%20el%20Pacto%20Verde%20Europeo.>
- Comisión Europea. (18 de Mayo de 2022). Web oficial de la Unión Europea. Obtenido de https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_22_3131
- David Ah-Voun, C. K. (2024). Elsevier. Obtenido de Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152300441X>
- Directiva 97/66/CE. (1997). An official website of the European Union. Obtenido de Eur-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1997/66/oj>
- EIA. (2018). EIA International Energy Outlook 2018. Obtenido de <https://www.eia.gov/>
- Europa, C. (18 de Mayo de 2022). Web oficial de la Unión Europea. Obtenido de https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_22_3131
- Eurostat. (2023). An official website of the European Union. Obtenido de <https://ec.europa.eu/eurostat>

- Eurostat. (2024). Agencia Internacional de la Energía. Obtenido de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_statistics_-_an_overview
- Eurostat. (2024). Comision Europea. Obtenido de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview
- Gonzalez, J. D. (2022). Renewable energy potential in Colombia.
- IEA 50. (2024). Background note on the natural gas supply-demand balance of the European Union in 2023. Obtenido de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_statistics_-_an_overview
- Kardas, S. (13 de Febrero de 2023). European Council On Foreign Relations. Obtenido de [ecfr.eu: https://ecfr.eu/article/conscious-uncoupling-europeans-russian-gas-challenge-in-2023/](https://ecfr.eu/article/conscious-uncoupling-europeans-russian-gas-challenge-in-2023/)
- Lilliestadt, A. (2023). Bridging the gap between solar and wind power - A review of energy storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Lilliestadt, A. (2023). Cerrando la brecha entre la energía solar y eólica: una revisión de las tecnologías de almacenamiento de energía . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Márquez, I. D., & Puyo, D. M. (2019). Ministerio de Minas y Energía. Obtenido de https://www.minenergia.gov.co/documents/5856/TRANSICION_ENERGETICA_COLOMBIA_BID-MINENERGIA-2403.pdf
- Mattia De Rosa, K. G. (15 de Agosto de 2022). Science Direct. Obtenido de Elsevier: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222010003>
- Simeonova, E. (31 de Diciembre de 2023). Radio Free Europe. Obtenido de Radio Liberty: <https://www.rferl.org/a/russia-natural-gas-european-union-dependence-ukraine-war/32754244.html>
- Tena, A. (23 de Febrero de 2023). Público. Obtenido de <https://www.publico.es/economia/europa-bajar-demanda-gas-ruso-tuberia-sobredimensiona-sistema-compra-barco.html>
- Unigas. (9 de Agosto de 2023). Panorama energético en Colombia: retos del segundo semestre de 2023. Obtenido de <https://www.unigas.com.co/blog/panorama-energetico-en-colombia-retos-del-segundo-semestre-de-2023/>
- UPME. (2023). Informe: "Plan de Expansión de Generación de Energía Eléctrica 2023 - 2032". Bogotá, Colombia.

- Urich, L. M. (23 de 03 de 2022). Putin anuncia que cobrará en rublos el gas vendido a Europa. France 24.
- Yergin, D. (1991). Foreign Affairs. Obtenido de The Prize: The Epic Quest For Oil, Money And Power: https://www.foreignaffairs.com/reviews/capsule-review/1991-03-01/prize-epic-quest-oil-money-and-power?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=dsa_tfd&gad_source=1&gclid=Cj0KCCQjw-uK0BhC0ARIsANQtgGMiOGj_yz2mjG_8qk_ZZ4VvwLGYmcF7Sr_Hr8Ye0SypDiv-S2t3HmAa
- European Commission. (2014). Energy security strategy. Retrieved from European Commission website.
- Goldthau, A. (2008). Resurgent Russia? Rethinking Energy Inc. Policy Review, (147), 39-48.
- Henderson, J., & Mitrova, T. (2020). Implications of the global energy transition on Russia. In The Geopolitics of the Global Energy Transition (pp. 225-245). Springer, Cham.
- Pirani, S. (2016). Russia's Gas Sector: From Centralised Control to Development of Competition. In The Future of Russian Gas and Gazprom (pp. 53-74). Oxford Institute for Energy Studies.
- Smith, K. C. (2016). Crimea: The Achilles' Heel of Europe's Energy Diversification Strategy. Center for Strategic and International Studies.
- Stern, J. (2005). The Future of Russian Gas and Gazprom. Oxford University Press.
- Stern, J. (2009). Continental European Long-Term Gas Contracts: is a transition away from oil product-linked pricing inevitable and imminent?. Oxford Institute for Energy Studies.
- Victor, D. G. (2008). Natural Gas and Geopolitics: From 1970 to 2040. Cambridge University Press.
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. (2021). The Energy Transition: The German Energiewende. Retrieved from BMWi website.
- Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge. (2021). Energy Policies and Security of Supply in Spain. Retrieved from MITECO website.
- Swedish Energy Agency. (2021). Energy in Sweden: Facts and Figures. Retrieved from Swedish Energy Agency website.

- Ministry of Economic Development. (2021). Italy's Energy Strategy: Securing the Future. Retrieved from MiSE website.
- AEBIOM. (2019). European Biomass Association Statistical Report. Retrieved from AEBIOM website
- EIA. (2020). Electric Power Monthly with Data for August 2020. Retrieved from EIA website
- Eurostat. (2021). Renewable energy statistics. Retrieved from Eurostat website
- Fraunhofer ISE. (2021). Photovoltaics Report. Retrieved from Fraunhofer ISE website
- IEA. (2021). Photovoltaic Power Systems Programme: Annual Report. Retrieved from IEA website
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Retrieved from IPCC website
- IRENA. (2021). Renewable Power Generation Costs in 2020. International Renewable Energy Agency. Retrieved from IRENA website
- Scarlat, N., Dallemand, J. F., & Fahl, F. (2015). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457-472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.058>
- WindEurope. (2022). Wind energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026. Retrieved from WindEurope website
- BMU (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety). (2021). Germany's Greenhouse Gas Emissions 2020. Retrieved from <https://www.bmu.de/en/>
- European Commission. (2021). EU Energy Dependency Report. Retrieved from <https://ec.europa.eu/energy/>
- Italian Ministry of Economic Development. (2021). Italy's Energy Strategy. Retrieved from <https://www.mise.gov.it/>
- EGEC (European Geothermal Energy Council). (2020). Geothermal Market Report. Recuperado de <https://www.egec.org>
- Flanagan, M., Kammer, A., Pescatori, A., & Stuermer, M. (2022). Economic Impact of Energy Supply Interruptions in Europe.

Fraunhofer ISE. (2020). Photovoltaics Report. Recuperado de <https://www.ise.fraunhofer.de>

IEA (International Energy Agency). (2021). Renewables 2021: Analysis and Forecast to 2026. Recuperado de <https://www.iea.org>

Italian Ministry of Economic Development. (2021). Italy's Energy Strategy. Recuperado de <https://www.mise.gov.it>

Red Eléctrica de España. (2021). Renewable Energy in Spain 2020. Recuperado de <https://www.ree.es>

Swedish Energy Agency. (2021). Energy in Sweden: Facts and Figures. Recuperado de <https://www.energimyndigheten.se>

BMU (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety). (2021). Germany's Greenhouse Gas Emissions 2020. Recuperado de <https://www.bmu.de>