



## TESIS DOCTORAL

# *Aspectos Económicos de la Transición a un Sistema Energético Bajo en Emisiones*

**Autora:**

***Chong Zhang***

**Director:**

***Ignacio Mauleón Torres***

**Programa de Doctorado en Ciencias Sociales y Jurídicas**

**Escuela Internacional de Doctorado**

2023



## Agradecimiento

Hacer el doctorado es como caminar por un pasaje sin luz, oscuro, lleno de soledad e incertidumbres. A veces, vislumbro la luz de la esperanza, pero al acercarme descubro que solo es un destello, una ilusión. No obstante, quiero resaltar que soy afortunada; mientras atravesaba este oscuro pasaje sin saber cuándo terminaría, conté con la ayuda y el aliento de mi director, mi familia, mi pareja y mis amigos. Fueron como estrellas iluminándome en este camino, proporcionándome apoyo de manera constante, permitiéndome recorrer este difícil y accidentado trayecto.

Quiero expresar mi agradecimiento especialmente a mi director/tutor, Ignacio Mauleón Torres, quien siempre me guió cuando perdía la dirección académica, señalándome el camino hacia adelante. En los momentos en que necesitaba ayuda, él estaba siempre dispuesto a asistirme, ya sea en lo académico, profesional o personal. En mis momentos de desamparo, me brindó esperanza y confianza para que tuviera el coraje de seguir esforzándome. Sin su dirección, esta tesis no se habría realizado.

Además, agradezco a los profesores de la comisión académica, quienes respondieron innumerables dudas y brindaron ayuda crucial durante mis años del doctorado.

Por supuesto, quiero agradecer a mis padres, porque su amor y apoyo incondicionales, me dieron la valentía para enfrentar todos los desafíos y contratiempos.

Luego, agradezco a mi pareja, cuya presencia me dio fuerza y ánimo para hacer que el camino monótono del doctorado sea interesante y feliz. También agradezco a mi futura hija; gracias por haber venido a mi lado en el momento más difícil de mi vida. Finalmente, quiero decir que quizás no sea el académico más destacado, pero definitivamente soy la persona más afortunada del mundo porque los tengo en mi vida.



## Índice

Resumen .....	10
<b>1. Introducción: Análisis energético global .....</b>	<b>14</b>
1.1 Estudio de las causas de la guerra ruso-ucraniana a la luz de la situación internacional actual y destacar la importancia del tema de investigación .....	14
1.2 Estudio de las implicaciones energéticas de los últimos acontecimientos mundiales .....	27
1.2.1 Gas natural: determinar su dirección de desarrollo .....	27
1.2.2 Petróleo: investigar sus alternativas .....	39
1.2.3 Carbón: discutir sus principales contradicciones .....	45
<b>2. Hacia las energías renovables .....</b>	<b>48</b>
2.1 Panorama general del actual estado del desarrollo energético mundial y evolución de las energías renovables .....	48
2.2 Factores que influyen en el coste de instalación de PV de energía solar .....	57
2.3 Factores que influyen en el coste de instalación de turbinas de energía eólica .....	59
<b>3. Análisis crítico y desafíos del marco político europeo de energías renovables .....</b>	<b>64</b>
3.1 Introducción .....	64
3.2 Marco de política de energías renovables en Europa .....	64
3.3 Política de apoyo a las energías renovables .....	69
3.3.1 Mecanismo europeo de políticas de apoyo a las energías renovables .....	70
3.3.2 La evolución de los mecanismos de apoyo europeos .....	72
3.3.3 Evolución del mecanismo de apoyo de los Estados miembros de la UE .....	73
3.3.4 El caso de Alemania .....	76
3.3.5 Extraer lecciones de casos seleccionados y muy resumidos .....	78
3.3.6 Adquisición corporativa de PPA de energía renovable .....	78
3.4 Principales desafíos, factores impulsores e impactos del apoyo a las energías renovables .....	80
3.4.1 Perspectiva política y social .....	80
3.4.2 Perspectiva técnica .....	81
3.4.3 Perspectiva del mercado .....	81
3.4.4 Perspectiva del consumidor .....	82
3.4.5 Los principales desafíos a los que se enfrenta el desarrollo de la energía renovable en el futuro y el apoyo político relacionado .....	82
3.4.6 Experiencias para el desarrollo futuro .....	85

3.5	Conclusiones y recomendaciones-Acciones políticas de la UE y España . . . . .	85
<b>4.</b>	<b>Descentralización energética . . . . .</b>	<b>88</b>
4.1	Introducción . . . . .	88
4.2	Descentralización energética: definición y conceptos clave . . . . .	88
4.3	Descentralización energética en Europa: situación actual . . . . .	90
4.4	Estudios de caso de la descentralización energética. . . . .	91
4.4.1	Europa . . . . .	91
4.4.1.1	Ej. País que ha descentralizado con éxito su sistema energético (Alemania). . . . .	91
4.4.1.2	Ej. País que está actualmente en proceso de descentralización energética (España) . . . . .	92
4.4.1.3	Ej. País que ha enfrentado desafíos en la descentralización energética (Polonia) . . . . .	93
4.4.1.4	Ej. País que podría ser replicado en la descentralización energética (Inglaterra) . . . . .	94
4.4.1.5	Ej. País que está en desarrollo de descentralización energética (Italia). . . . .	95
4.4.1.6	Ej. País que ha enfrentado desafíos en la descentralización energética (Francia) . . . . .	96
4.4.2	América (Estados Unidos) . . . . .	97
4.4.3	Oceanía (Australia) . . . . .	98
4.4.4	Asia . . . . .	99
4.4.4.1	Japón . . . . .	99
4.4.4.2	Nepal . . . . .	101
4.4.4.3	India . . . . .	102
4.4.4.4	China . . . . .	103
4.4.5	África . . . . .	103
4.4.6	Conclusiones . . . . .	104
4.5	Impactos de la Descentralización Energética . . . . .	105
4.5.1	Impactos Económicos . . . . .	105
4.5.2	Impactos Sociales . . . . .	106
4.5.3	Impactos Ambientales . . . . .	107
4.6	Descentralización energética en Europa: desafíos y oportunidades . . . . .	107
4.7	Descentralización energética en Europa: regulaciones y políticas gubernamentales . . . . .	108
4.8	Implicaciones para la seguridad energética a nivel nacional y europeo. . . . .	112
4.9	Descentralización energética en Europa: datos destacados. . . . .	112
4.10	Conclusiones . . . . .	113
4.10.1	Resumen de los principales hallazgos . . . . .	113

4.10.2	Implicaciones para la política energética europea . . . . .	114
<b>5.</b>	<b>Generación de energía solar en China. . . . .</b>	<b>116</b>
5.1	Introducción . . . . .	116
5.2	Antecedentes . . . . .	116
5.3	El desarrollo futuro de la energía de China. . . . .	122
5.4	La principal contradicción que enfrenta la energía de China . . . . .	124
5.5	PV en China . . . . .	131
5.5.1	Fuentes de datos fotovoltaicos de China . . . . .	131
5.5.1.1	Literatura . . . . .	131
5.5.1.2	Informe de investigación. . . . .	132
5.5.1.3	Información de la página web . . . . .	132
5.5.2	Política fotovoltaica de China . . . . .	133
5.5.2.1	Modelo de integración de la industria PV + "" y políticas de apoyo . . . . .	133
5.5.2.2	Resumen de la política del gobierno central . . . . .	136
5.5.2.3	Comparación de las políticas de la industria fotovoltaica del gobierno central y del gobierno local . . . . .	137
5.5.3	Estado de desarrollo de la energía fotovoltaica en China. . . . .	138
5.5.4	Modelo de proyecto de generación de energía fotovoltaica descentralizada de China 141	
5.5.5	Desarrollo de la energía fotovoltaica en varias regiones de China . . . . .	142
5.5.5.1	Casos de generación de energía fotovoltaica descentralizada . . . . .	142
5.5.5.2	Casos de generación de energía fotovoltaica centralizada. . . . .	144
5.5.6	Razones del rápido desarrollo de la generación de energía fotovoltaica descentralizada 145	
5.5.7	Ventajas y desventajas de la generación de energía fotovoltaica descentralizada .	145
5.5.8	Problemas existentes en el desarrollo de la industria fotovoltaica de China. . . . .	146
5.5.9	Factores que afectan al desarrollo de la generación de energía fotovoltaica descentralizada en China. . . . .	147
5.5.10	Las principales sugerencias y directrices específicas para mejorar el ajuste futuro de las regulaciones gubernamentales sobre la industria fotovoltaica de China . . . . .	150
5.6	La energía CSP/ Energía termosolar de concentración en China . . . . .	150
5.6.1	Elementos de selección del lugar para la construcción de CSP . . . . .	152
5.6.2	Casos. . . . .	152

5.6.3	Discusiones de CSP de China .....	154
5.7	Conclusión:.....	154
<b>6.</b>	<b>Evaluación de las ganancias y ahorros en eficiencia energética en el Plan de Carbono Neutral 2060 de China. ....</b>	<b>158</b>
6.1	Introducción .....	158
6.2	Metodología .....	161
6.3	Resultados empíricos. ....	164
6.3.1	Análisis de tendencia .....	164
6.3.2	Análisis de los datos .....	165
6.3.3	Simulaciones estocásticas .....	168
6.4	Discusión .....	172
6.5	Conclusiones .....	174
<b>7.</b>	<b>Conclusión .....</b>	<b>177</b>
<b>8.</b>	<b>Apéndice A .....</b>	<b>181</b>
	Apéndice A.1. Tablas de comparación del coste total de la instalación de energía solar fotovoltaica a gran escala de China con otros países de Europa y USA. ....	181
	Tabla A.1.1 Coste total de la instalación de energía solar fotovoltaica a gran escala en países seleccionados, en 2021 (Utility-scale solar PV total installed cost in selected countries).....	181
	Tabla A.1.2 Coste promedio ponderado de la electricidad solar fotovoltaica a gran escala en países seleccionados, 2021. (Utility-scale solar PV weighted average cost of electricity in selected countries, 2021).....	181
	Apéndice A.2 Casos del desarrollo de energía solar en varias regiones de China .....	182
	A.2.1. Casos de generación de energía fotovoltaica descentralizada .....	182
	A.2.2. Casos de generación de energía fotovoltaica centralizada. ....	186
	A.2.3. Casos de generación de energía CSP. ....	191
	Apéndice B. ....	194
	Apéndice B.1. ....	194
	Apéndice B.2. ....	194
	Tabla B.2.1. Pronóstico de la demanda de energía primaria: Escenario Urgente Verde (Green Urgent Scenario- GUS).....	194
	Tabla B.2.2. Emisiones de CO <sub>2</sub> en el escenario de 1,5 °C. ....	194
	Apéndice B.3. ....	195



Abreviatura.....	195
<b>9. Bibliografía .....</b>	<b>197</b>

## Resumen

La energía constituye la base material para la supervivencia de la sociedad humana, erigiéndose como un recurso imprescindible para el desarrollo económico y social. Durante siglos, la humanidad dependió, principalmente, de fuentes de energía renovable tradicional, donde habría que mencionar la biomasa; no obstante, con la llegada de la revolución industrial, se llevó a cabo el desarrollo de la energía fósil (carbón, petróleo y gas natural), convirtiéndose, gradualmente, en la principal fuente energética para el progreso humano. De este modo, desempeñó un papel fundamental tanto para el desarrollo de la economía mundial como para el avance de la sociedad humana. Según el Anuario Estadístico de la Energía Mundial 2021, publicado por el BP, el consumo total de energía primaria a nivel mundial alcanza los 557,6 EJ<sup>1</sup>.

A pesar de ello, la energía renovable, encabezada por la energía solar, mantiene aún un crecimiento significativo, evidenciado por un aumento de 238GW en la capacidad de instalación de energía solar y eólica, marcando así un hito histórico en cuanto a capacidad de nueva instalación. No obstante, la energía fósil conserva una posición predominante en el consumo energético global en el año 2020, representando el 83,1 %. De ese porcentaje, el carbón constituye un 27,2 %, el gas natural un 24,7 %, la energía hidroeléctrica un 6,9 %, las energías renovables un 5,7 % y la energía nuclear un 4,3 %. A pesar los guarismos mostrados, es esencial destacar que la energía fósil no es renovable. Su desarrollo y uso a gran escala agotan rápidamente los recursos acumulados en la Tierra durante cientos de millones de años, al mismo tiempo que generan problemas ambientales graves como el cambio climático y la degradación ecológica, amenazando directamente la sostenibilidad del desarrollo humano.

Además de los avances en ciencia y tecnología, así como el constante aumento de la electrificación a nivel mundial, el conocimiento y la comprensión de los seres humanos sobre la energía renovable (especialmente en el caso de la energía eólica y solar), ha experimentado un rápido desarrollo gracias a sus notables ventajas. Entre ellas, cabe destacar la amplia distribución de los recursos, el considerable potencial de desarrollo, el bajo impacto ambiental y la capacidad de uso sostenible. Unos factores que convergen para promover el desarrollo sostenible, tanto de la economía en sí misma como de la propia sociedad.

El periodo de tiempo durante el cual se redactó esta tesis doctoral, coincidió con la guerra ruso-ucraniana, uno de los conflictos más significativos en Europa desde la Segunda Guerra Mundial. El impacto de esta crisis en el mercado energético global es, no sólo notable, sino también perdurable. La crisis ucraniana ha arrojado luz sobre la crisis energética a nivel mundial, la cual previamente no había recibido tanta atención por parte de la prensa ni de la población en general, y esto ha llevado a que tanto la optimización del sistema energético como la transformación energética se vuelvan inminentes. En consecuencia, este estudio aborda, en primera instancia, las causas del conflicto entre Rusia y Ucrania, teniendo en cuenta la situación internacional extremadamente tensa y peligrosa que enfrenta el mundo actualmente. De este modo, se llega

---

<sup>1</sup> "EJ" es  $10^{18}$  (10 elevado a 18) "Joule (J)"

a la conclusión de que la esencia de prácticamente todos los problemas sociales en el mundo radica en cuestiones puramente económicas. La raíz de los enfrentamientos entre los países se encuentra en la competencia por los recursos energéticos, donde destacaría la importancia del tema abordado en este trabajo: la energía.

Posteriormente, la autora examina las implicaciones energéticas de los acontecimientos mundiales recientes en la segunda parte del capítulo 1. A través de una investigación centrada en las principales fuentes de energía tradicional, como el carbón, se analizan las contradicciones fundamentales asociadas a cada una. En el caso del gas natural, se aborda la dificultad de prever la dirección de su desarrollo futuro, mientras que en el caso del petróleo se explora la búsqueda de alternativas energéticas viables. Y es así como, de este análisis, surge la importancia, necesidad y urgencia del desarrollo energético sostenible, motivo por el cual se profundiza en el capítulo 2.

En este segundo capítulo mencionado de la tesis, en primer lugar, se realiza un estudio exhaustivo del panorama actual con respecto al desarrollo energético a nivel mundial, así como del incremento en la proporción de energía sostenible en el consumo total de energía global. Posteriormente, el enfoque de este capítulo se dirige hacia el análisis de los cambios en los datos del consumo de energía sostenible en diversas potencias europeas, según la perspectiva de la autora. Se examinan detalladamente las variables clave que influyen en dichos cambios, resumiendo y anticipando el uso actual y futuro de la energía sostenible en el consumo global de energía. Además, se lleva a cabo la predicción de los tipos de energía renovable más prometedores. A partir de ahí, los siguientes apartados del segundo capítulo se centran en los factores principales que inciden en los costos de instalación asociados con la generación de estas prometedoras fuentes de energía sostenible previamente mencionadas.

Después de resaltar la importancia y urgencia del desarrollo sostenible en el primer capítulo, el capítulo 3 examina minuciosamente el marco de la política energética sostenible en Europa. De este modo, se pone especial atención en la política nacional efectiva de Alemania para el desarrollo energético sostenible, ofreciendo no sólo opiniones, sino también sugerencias para la política española en esta materia.

Tras analizar y estudiar numerosas políticas energéticas sostenibles europeas con sus correspondientes ejemplos en el capítulo anterior, la autora llega a la conclusión de que, en la actualidad, la descentralización energética se posiciona como el plan de promoción más efectivo y práctico en Europa. Por lo tanto, se lleva a cabo una investigación exhaustiva sobre esta cuestión en el capítulo 4. En primer lugar, se clarifican los conceptos y definiciones clave (4.2) y, en segundo lugar, se analiza la situación actual de desarrollo de la energía descentralizada; incluyendo la etapa actual de desarrollo, así como los desafíos y oportunidades, entre otros aspectos (4.3). Posteriormente, se examina detalladamente el desarrollo de la energía distribuida en países con diversas características en cada continente, extrayendo características, tipos y conclusiones específicas de casos particulares. Estos mismos casos incluyen países de Europa (Alemania, España, Polonia, Reino Unido, Italia o Francia), América (EE.UU.), Oceanía (Australia), Asia (Japón, Nepal, India, China) y África (4.4).

A continuación, basándonos en los casos reales anteriores, se analizan los impactos multifacéticos de la energía descentralizada, ya sean económicos, sociales o ambientales (4.5), así como los desafíos y oportunidades que presentan (4.6). A continuación, la autora organiza las regulaciones gubernamentales (4.7) y las aplicaciones relevantes (4.8). Finalmente, a partir de la investigación anterior, se extraen varias conclusiones (4.10), sugiriendo que la descentralización energética puede ser una estrategia efectiva para alcanzar los objetivos energéticos y generar un impacto positivo en los aspectos económicos, sociales y ambientales.

Después de examinar el desarrollo de la energía descentralizada a nivel mundial en el capítulo anterior, la autora considera fundamental profundizar en la investigación sobre la energía en China, concretamente, y así ampliar el marco de la descentralización energética. China, dada su importancia tanto en el consumo y producción de energía como en la emisión de gases de efecto invernadero, se convierte en un país clave. Por lo tanto, en el capítulo 5, partiendo de la composición y de las condiciones nacionales del consumo de energía en China (apartados 5.1 - 5.2), la autora examina el estado de desarrollo de las energías renovables en este país y los desafíos energéticos que enfrenta (apartado 5.3). A través de una investigación vertical y sistemática (apartados 5.4 - 5.6), la autora descubre que en China no existe una comunidad energética entendida como en Europa, sino una energía característica distribuida basada en las condiciones nacionales del país para llevar a cabo el plan de desarrollo de energía sostenible (apartado 5.7).

Al realizar un estudio sobre la energía en China, es crucial destacar el compromiso del Plan de Carbono Neutral anunciado por las autoridades chinas, que busca realizar una transición hacia una economía prácticamente neutral en carbono para el año 2060. En el capítulo 6, se busca evaluar las ganancias y ahorros en eficiencia energética derivados de este ambicioso plan. Dado que la economía china es responsable de aproximadamente el 30 % de las emisiones globales de gases contaminantes, es de suma importancia analizar la viabilidad de este objetivo. En primer lugar, se evalúan las ganancias en eficiencia energética y el ahorro en la demanda energética derivados de este compromiso. Posteriormente, se discute la factibilidad de alcanzar estos objetivos de ahorro y aumento de eficiencia mediante un análisis internacional, incluyendo una estimación cuantitativa de la demanda de energía primaria desde el año 1965 hasta el año 2060.

La tesis se inicia con un análisis del panorama internacional actual, acompañado por hechos reales actuales, lo cual conduce al tema central de la energía. Posteriormente, se enfoca en el estado de desarrollo y la relevancia de la energía sostenible, abordando diversos temas candentes que actualmente captan una gran atención social en el ámbito de las energías renovables. El objetivo es proporcionar un valioso punto de referencia y contribuir, en cierta medida, a la promoción de la energía sostenible a nivel global y al desarrollo de planes energéticos internacionales.



# 1. Introducción: Análisis energético global

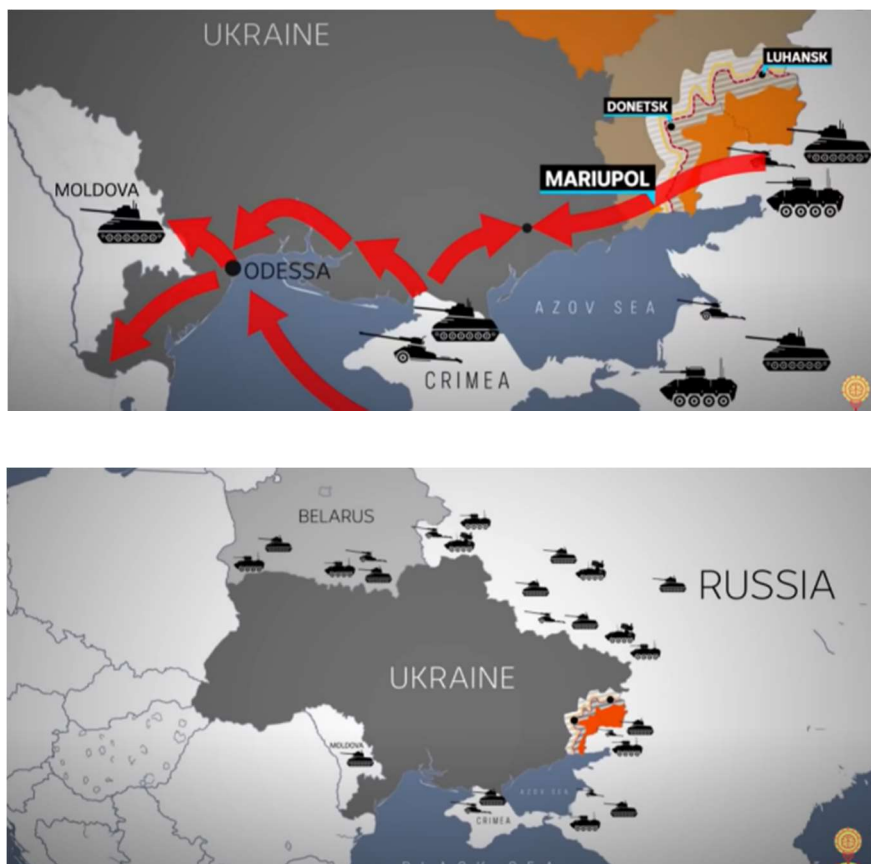
## 1.1 Estudio de las causas de la guerra ruso-ucraniana a la luz de la situación internacional actual y destacar la importancia del tema de investigación

El momento en el que la autora está escribiendo esta tesis coincide con la guerra entre Rusia y Ucrania en 2022. Ha sido la guerra más grave en Europa después de 84 años de periodo de paz desde la Segunda Guerra Mundial en 1939, la cual también dejó que nuestra generación (que solo aprendió sobre la guerra en los libros de texto) experimente la crueldad de la guerra y entienda el valor de la paz. El regreso de turbulencias después de muchos años de paz, la tensión mundial repentina y la situación de guerra incontrolable han causado pánico en todo el mundo, preocupados de que haya una Tercera Guerra Mundial. Ante la situación internacional actual, la autora quiere comenzar esta tesis con una discusión sobre las razones de esta guerra y hablar brevemente sobre el motivo del ataque por parte de Rusia, lo que conducirá a una serie de discusiones posteriores en la tesis.

El 24 de febrero de 2022, el presidente ruso, Vladimir Putin, declaró oficialmente la guerra a Ucrania y ordenó a las tropas rusas que invadieran el país. De hecho, antes del estallido oficial de la guerra ruso-ucraniana, el ejército ruso había reunido unos 200 000 soldados en la frontera entre Bielorrusia, Rusia y Ucrania, así como varios tanques, artillería, equipamiento y hospitales militares. Y no solo eso, sino que el presidente ruso declaró a Donetsk y Luhansk como estados independientes el 21 de febrero de 2022 y firmó un documento declarando que ya no formaban parte de Ucrania.

Las dos áreas se conocen colectivamente como Sparton, y la mayoría de los residentes son prorrusos. En 2014, lucharon con el gobierno ucraniano, después de lo cual los separatistas prorrusos ocuparon edificios gubernamentales y declararon unilateralmente que estos dos estados son repúblicas populares independientes. Sin embargo, ningún país reconoce realmente su supuesta independencia. También en 2014, Rusia lanzó una incursión en Ucrania, anexando la península de Crimea en el sur.

La declaración de Rusia sobre la independencia de estas dos regiones tiene un significado estratégico, que se puede entender a través de su ubicación geográfica. En el mapa, se observa que al mantener el control de estas dos regiones, Rusia virtualmente rodea a Ucrania en la zona cercana al mar. Esto implica una posición geográfica estratégica que podría tener implicaciones en términos de influencia, acceso marítimo y control en la región. La ubicación geográfica puede jugar un papel crucial en la dinámica política y estratégica entre los países involucrados.

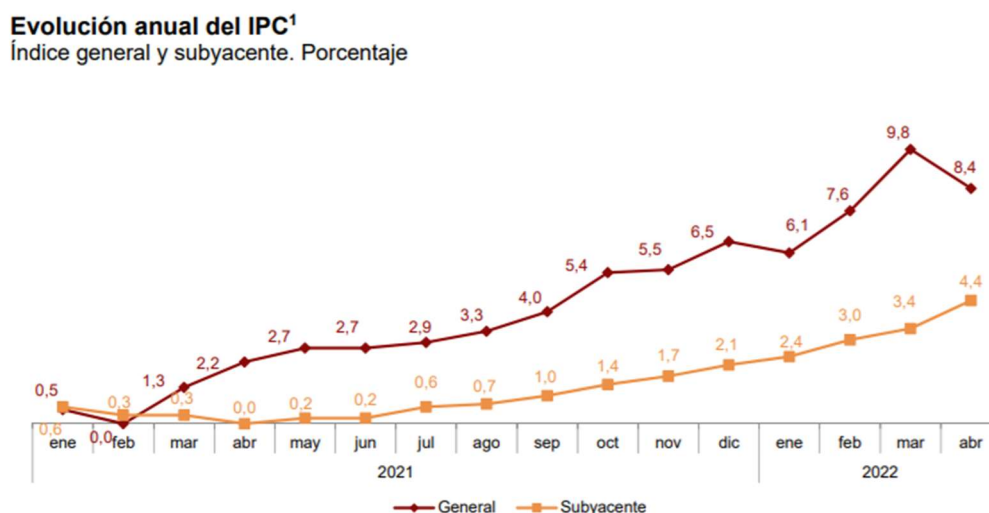
**Figura 1 y 2.** La importancia estratégica de la ubicación geográfica de Ucrania

Fuente: ABC News (Australia)

Ahora que ha estallado la guerra, el daño es enorme, siendo la muerte y la destrucción lo más intuitivo, pero también ha afectado gravemente a todos los aspectos de nuestra vida cotidiana en otros países europeos; desde la escasez y el aumento vertiginoso de los precios de los alimentos, que llevaron a la crisis al sector de la hostelería, hasta el aumento vertiginoso del precio del petróleo. Por eso, hubo una serie de huelgas sindicales de transporte que han causado una congestión logística. También el transporte urbano ha sido bloqueado, así como la ruptura de la cadena de suministro de petróleo crudo condujo a un fuerte aumento en los precios de combustibles, lo que ha conllevado el aumento del precio de los productos básicos y de energía.

Según datos del INE, el IPC de España subió hasta el 9,8 % en marzo de 2022, frente al 1,3 % en el mismo periodo del año pasado. Esta serie de fenómenos hace que la población viva con pánico y ansiedad.

**Figura 3.** La importancia estratégica de la ubicación geográfica de Ucrania Evolucion anual del IPC



<sup>1</sup> El último dato se refiere al indicador adelantado

Fuente: RTVE. [80] INE

Visto esto, no podemos evitar preguntarnos qué es exactamente lo que Putin y Rusia quieren de Ucrania. La respuesta es muy complicada. Primero tenemos que volver a la década de 1990, antes del colapso de la Unión Soviética. Los países que conocemos hoy como Rusia, Ucrania, Bielorrusia, etc., formaban parte de la Unión Soviética, la que fue considerada durante décadas una de las superpotencias más dominantes y poderosas del mundo. Hasta fines de 1991, el imperio unificado en expansión se derrumbó y fue reemplazado por 15 repúblicas recientemente independientes. Rusia, que es el más extenso de los 15 países, actualmente tiene la mitad de la población de la antigua Unión Soviética y una economía solo un poco más grande que la de España (según datos del Banco Mundial, el PIB de Rusia en 2020 es de 1,483 billones de dólares estadounidenses, mientras que el PIB de España es de 1,281 billones de dólares) siendo la población de Rusia tres veces mayor que la de España (según datos del Banco Mundial, la base de población de Rusia en 2020 es de 144,1 millones y la población de España es de 47,35 millones). Además, la superficie terrestre de Rusia, es 33,8 veces más que la de España (según datos del Banco Mundial, la superficie terrestre de Rusia en 2020 es de 17 100 000 kilómetros cuadrados, y la de España es de 505 990 kilómetros cuadrados).

En comparación con su población y superficie, su escala económica dista mucho de ser satisfactoria. Sin embargo, cuando nos remontamos un poco más atrás, a la Guerra Fría, había dos alianzas militares en el continente europeo que luchaban entre sí. Por un lado, está la Organización del Tratado del Atlántico Norte OTAN dirigida por los Estados Unidos en Europa Occidental, y por otro lado está la Organización del Pacto de Varsovia, dirigida por la Unión Soviética en Europa del Este. La Unión Soviética no gobernaba los países del Pacto de Varsovia en ese momento, pero los trataba como estados títeres. Si lo miramos desde el punto de vista



de Moscú, veremos que estos países forman un enorme escudo contra cualquier posible incursión militar de la OTAN. Desde los Países Bajos en Europa Occidental hasta los Montes Urales en Europa del Este, podemos encontrar una característica muy obvia: el terreno es casi completamente plano y su forma es como un embudo estrecho que su boca se hace cada vez más ancha a medida que se acerca a los Montes Urales. Esta tipografía se llama Llanura Nórdica. A medida que la abertura se hace más y más ancha, el frente se alargará, haciendo que la defensa sea cada vez más difícil. Entonces, desde el punto de vista de Moscú, a lo largo del tiempo deben extender su control lo más al oeste posible en esta llanura, para que, en caso de conflicto con Occidente, puedan acotar las áreas que necesitan ser defendidas.

**Figura 4 y 5.** La importancia estratégica de la ubicación geográfica de la Llanura Nórdica



Fuente: Live Journal. CaspianReport: Почему Россия хочет вернуть себе территории СССР

Durante la Guerra Fría, Moscú tenía un firme control sobre esta llanura. Dado que Austria y Finlandia mantuvieron una posición neutral en ese momento, y Yugoslavia era un país comunista no alineado, los únicos frentes que Moscú necesitaba defender eran las montañas de los Sudetes, la región del Mar Negro y una línea estrecha que atraviesa la llanura nórdica en el centro de Alemania. Una posición fácilmente defendible.

Sin embargo, en los treinta años transcurridos desde 1991, la situación ha cambiado drásticamente contra Moscú, ya que los países del antiguo Pacto de Varsovia como Alemania, Polonia, República Checa, Hungría, Rumania, Bulgaria, etc., se han convertido en miembros de la OTAN. A parte de eso, las antiguas repúblicas soviéticas como Lituania, Letonia y Estonia también se unieron a la OTAN, lo que empujó las fronteras de la OTAN considerablemente hacia el este. Así, abarca una parte más amplia de la llanura Nórdica y también abarca la llamada brecha de Suwalki. La brecha de Suwalki (*Suwalki Gap*) es la frontera entre Lituania y Polonia, así como el lote divisorio entre Bielorrusia y el enclave ruso de Kaliningrado. Es un lugar plano y angosto que es difícil de defender.

**Figura 6 y 7.** La ubicación estratégica de la brecha de Suwalki (*Suwalki Gap*)



Para el Kremlin, en Moscú, en ese momento, la OTAN es considerada como una alianza militar hostil, y en el futuro la relación puede ir a peor, lo que crea una situación muy seria y grave para él. En los años posteriores al colapso de la Unión Soviética, muchas repúblicas recién independizadas formaron sus propias alianzas militares, como la Organización del Tratado de Seguridad Colectiva (OTSC), cuyos miembros incluían a Rusia, Bielorrusia, Kazajstán y Armenia, pero curiosamente no incluían a Ucrania, que también era miembro de la Unión Soviética en su momento. Ucrania siempre ha sido una especie de zona neutral entre la OTAN en el oeste y la OTSC en el este. Desde esta perspectiva, está claro por qué Ucrania es un territorio que Moscú quiere controlar, tanto ahora como en el futuro.

**Figura 8.** Ucrania como zona neutral entre la OTAN en el oeste y la OTSC en el este.



Si Ucrania está bajo el control de Moscú, empuja las líneas de defensa de la CSTO y de Moscú hacia las montañas de los Cárpatos (*Carpathians*) en el suroeste, y reduce su rango de defensa en la llanura nórdica hasta la frontera oriental de Polonia. Por el contrario, si Ucrania se convirtiera en miembro de la OTAN, las líneas de defensa de la OTAN se extenderían mucho más allá de los Cárpatos, atravesando las llanuras nórdicas más amplias, y colocarían nuevas líneas de defensa en casi 2300 kilómetros de llanuras abiertas y difíciles de defender. La línea de defensa más al este está a solo unos 300 kilómetros de Volgogrado. Si se ocupa Volgogrado, se cerrará todo el río Volga. Como resultado, se cortarán los recursos de petróleo y gas natural del Mar Caspio a varias partes de Rusia.

**Figura 9.** Ucrania como zona neutral entre la OTAN en el oeste y la OTSC en el este.



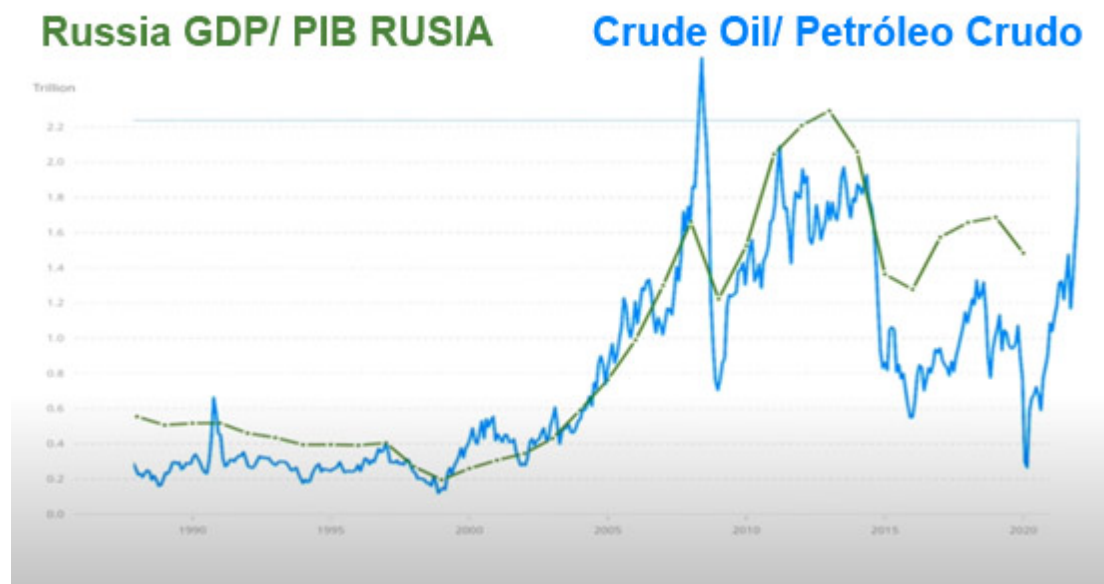
Y no solo eso. Bielorrusia, que limita con Rusia, un país aliado y leal al Tratado de Seguridad Colectiva, se convertiría en un saliente indefendible, rodeado por tres lados por territorio de la OTAN. Entonces, el control total de Ucrania por parte de Moscú, o, al menos, la neutralidad, es vital y crucial para la defensa de la OTSC. Todo esto es solo el comienzo, ya que lo que más

desean Rusia y Putin es energía.

Aunque la economía general de Rusia es un poco más grande que la de España, Rusia sigue siendo una superpotencia mundial en términos de recursos energéticos. Especialmente en términos de petróleo y gas, Rusia tiene muchos yacimientos petrolíferos grandes. Es el segundo mayor productor de petróleo del mundo y tiene las mayores reservas probadas de gas natural. La venta de petróleo y gas natural es la principal fuente de economía de Rusia, y los ingresos recibidos representan el 50 % del presupuesto del gobierno ruso y el 30 % del PIB de Rusia.

Rusia utiliza una gran suma de dinero que obtiene de la venta de petróleo y gas en el extranjero para financiar su ejército, pagar deudas, ahorrar dinero en efectivo y tratar de recuperar su estatus de poder mundial. Por lo tanto, Rusia es, efectivamente, un estado petrolero como Arabia Saudita o Irán, siendo el único estado petrolero en Europa; al menos por ahora. Desde el punto de vista de Moscú, tienen una gran ventaja geográfica, y venden la mayor parte de su gas y petróleo a la Unión Europea (incluyendo a Alemania, la cuarta economía más grande del mundo). Según los últimos datos de Eurostat, en el primer semestre de 2021, el 50 % del gas natural y el 25 % del petróleo de la UE procedían de Rusia. Esto hace pensar que la interrupción de esta relación comercial sería un evento catastrófico para todos, y el deseo de Ucrania de formar parte de la OTAN es el motivo más probable para que ocurra esta interrupción.

**Figura 10.** Relación entre el Pib de Rusia y el precio del petróleo crudo.



Fuente: Sinopec.

Antes de la desintegración de la Unión Soviética, Rusia y Ucrania tenían una relación como si fuesen una familia, y los numerosos gasoductos que atraviesan Ucrania eran como un puente, ayudando a Rusia a transportar gas natural directamente a varios países de Europa. Pero, después del colapso de la Unión Soviética, Ucrania se convirtió en un país independiente. Si Rusia quiere enviar gas natural a países europeos a través de tuberías ucranianas, tiene que

obtener el consentimiento de Ucrania. Así, Ucrania no desaprovechó esta buena oportunidad de hacer fortuna y pidió directamente a Rusia que pagara una costosa tarifa de casi 3000 millones de dólares estadounidenses al año, también conocida como 'tarifa de tránsito'. Rusia no tuvo más remedio que aceptarlo, ya que, en ese momento, no existían oleoductos en otros lugares. Hasta el año 2005, 80 gasoductos de las exportaciones de gas natural de Rusia a Europa aún se enrutaban a través de Ucrania. Sin embargo, en las décadas posteriores, Rusia ha construido varios oleoductos propios que eluden a Ucrania por completo para abordar su excesiva dependencia. El plan de Rusia es detener por completo todas las exportaciones de gas natural a través de Ucrania en 2024, ahorrando miles de millones de dólares en aranceles. Pese a ello, esto difícilmente constituye una razón para que Rusia invada Ucrania.

De hecho, la razón principal de la invasión rusa en Ucrania es que Rusia descubrió a principios de 2012 que la zona económica exclusiva de Ucrania en el Mar Negro puede contener más de 2 billones de metros cúbicos de gas natural (la mayoría de ellos se concentran alrededor de la península de Crimea), lo que representa una gran amenaza para el futuro de Rusia. Podemos imaginar el siguiente escenario: originalmente eres una hegemonía que monopolizaba el mercado de gas natural para toda la UE, y luego, de repente, aparece Ucrania y te dice que puede estar en el ranking 14 de las reservas de gas natural más grandes del mundo. ¿No entras en pánico? Sin embargo, Ucrania es un país relativamente pobre: carece de capital, la tecnología y el equipo para extraer estos recursos en grandes cantidades. En un principio, Rusia mostró una actitud pasiva sobre este asunto sabiendo las carencias de Ucrania, pero después Ucrania otorgó los derechos de exploración y perforación a *Royal Dutch/Shell Group of Companies* y *EXXonMobil*, por lo que Rusia cambió su actitud. Estas empresas occidentales tienen el potencial de transformar a Ucrania en la segunda nación de petróleo y gas de Europa en unos pocos años. Por tanto, no solo le aparece a Rusia un fuerte competidor energético, sino que también amenaza seriamente las fuentes de ingreso de Rusia. Incluso Ucrania puede utilizar esta baza para unirse a la OTAN.

En el año 2012, cuando estos descubrimientos apenas comenzaban a surgir, el presidente de Ucrania, Viktor Yushchenko, un político prorruso, hizo que Ucrania se alineara políticamente más cercano a los intereses de Rusia, por lo que, mientras sea presidente, estos hallazgos no amenazan directamente a Rusia. En febrero de 2014, cuando su gobierno fue derrocado repentinamente en una revolución pro UE y prooccidental en Kiev, Rusia no tardó en aprovechar la oportunidad de apoderarse de la península de Crimea en nombre de los reclamos históricos y la protección de los rusos étnicos y la anexión. Al apoderarse de la península de Crimea, Rusia consigue controlar directamente dos tercios de la costa de Ucrania. Casualmente, el 80 % de las reservas potenciales de petróleo y gas en el mar de Ucrania se encuentran aquí. Y no solo eso, sino que Rusia ha confiscado miles de millones de dólares en equipos de perforación y otros activos en la península.

Todas estas acciones socavan el potencial del gobierno ucraniano para desafiar la supremacía del gas natural de Rusia en Europa en el futuro. Para empeorar las cosas, *Shell* y *ExxonMobil*, poco después, se retiraron de todos los contratos que tenían con el gobierno ucraniano, lo que dejó a Ucrania sin la capacidad de extraer los recursos restantes por su cuenta. Según Putin,

para proteger sus propios intereses y los de su país, se debe dismantelar Ucrania occidental. Si Crimea algún día regresa a Ucrania, o si Ucrania se une a la OTAN, recuperará la capacidad de amenaza a la principal fuente de ingresos del gobierno ruso. Asimismo, la Armada rusa también perderá para siempre su puerto estratégico más valioso.

Aunque la situación no es favorable para Ucrania, tiene cierto modo de contratacar a Rusia, y lo ha estado ejerciendo. La península de Crimea es una isla débilmente unida con el resto de Europa, con pocos recursos de agua dulce disponibles para uso humano o agrícola. Antes de la anexión, la mayor parte del suministro de agua dulce a Crimea provenía de un canal construido durante la era soviética. Sin embargo, después de que Rusia se hizo cargo en 2014, los ucranianos no estaban a favor de seguir enviando el agua, por lo que usaron cemento para llenar la parte restante dentro de la frontera norte del canal y evitar que toda esa agua fluyera hacia la península de Crimea ocupada actualmente por Rusia. Como resultado, Crimea ha estado muriendo lentamente y secándose desde entonces, y el cambio climático actual solo lo está empeorando cada vez más. El año 2020 fue el más seco registrado en Crimea, lo que obligó al gobierno ruso a gastar miles de millones de dólares al año para apoyar a Crimea. Esto se debe principalmente a que el otro lado del canal también está cerrado por los ucranianos. Por lo tanto, los conflictos por el clima y los recursos hídricos pueden utilizarse como punto de partida para salvar a Ucrania de la crisis actual.

La razón por la que Rusia invade Ucrania también puede deberse a que Ucrania actualmente no tiene la capacidad de desafiar a las fuerzas armadas rusas tanto económicamente como armamentísticamente. En el futuro, sin embargo, Ucrania puede unirse a la OTAN, y podría activar el artículo 5 del tratado de la OTAN, que es la disposición que establece que, si un aliado de la OTAN es víctima de un ataque armado, cada miembro de la alianza tratará este suceso como un ataque armado contra todos los miembros y tomará las medidas que considere necesarias para ayudar al aliado atacado. Entonces, si Rusia decide atacar, Ucrania sería respaldada por todos los miembros de la OTAN, y pasaría a un segundo plano lo poderosa que sea Rusia.

Desde el colapso de la Unión Soviética, ha habido un problema de escasez de población dentro de Rusia. La tasa de fertilidad de Rusia siempre ha sido una de las más bajas del mundo, así que la población del país se ha ido reduciendo paulatinamente. Desde 2019, la epidemia del coronavirus que ha comenzado a asolar el mundo hizo estragos en Rusia, que ya de por sí, como decimos, tiene una población pequeña y una tasa de natalidad baja. Actualmente, Rusia está experimentando la mayor disminución de población en comparación con la antigua normalidad (un problema incluso peor que en la década de 1990 tras el colapso de la Unión Soviética). Son alrededor de 25 millones las personas en edad de efectuar el servicio militar en Rusia hoy en día, pero el gobierno sabe que, con el tiempo, este grupo potencial de reserva de recursos humanos será cada vez menor. Por lo tanto, se puede inferir que cuanto más tarde en lanzar ataques contra Ucrania, sus fuerzas también se reducirán.

Según el sitio web oficial de Kremlin, el presidente ruso, Vladimir Putin, habló por teléfono el 28 de febrero por invitación del presidente francés, Emmanuel Macron, y las dos partes

mantuvieron un intercambio serio y detallado sobre todos los aspectos de la situación en Ucrania. Desde entonces, Putin lanzó tres condiciones para una tregua:

En primer lugar, Ucrania no puede unirse a la OTAN. Solamente puede permanecer neutral.

En segundo lugar, la OTAN y Estados Unidos deben retirar todas sus tropas de Europa del Este hacia las fronteras de la OTAN anteriores a 1997, y terminando en Alemania.

En tercer lugar, la OTAN y Estados Unidos acordaron congelar el statu quo de la alianza de la OTAN y descartar cualquier futura expansión. Asimismo, no se realizarán ejercicios militares de ningún tipo en Europa del Este o el Cáucaso sin el consentimiento previo de Rusia.

Putín también ha enfatizado repetidamente que tal solución solo es posible si tiene en cuenta incondicionalmente los intereses de seguridad legítimos de Rusia, incluido el reconocimiento de la soberanía de Rusia sobre Crimea; abordando así la desmilitarización del estado ucraniano y asegurando su neutralidad. En este contexto, podríamos hablar de hegemonía rusa, algo que, por supuesto, Estados Unidos y la OTAN no aceptarán bajo esos términos.

Esa misma noche, Rusia y Ucrania también negociaron en Bielorrusia. El representante de Ucrania dijo después de la negociación que las dos partes discutieron principalmente el tema del alto el fuego, y que las partes volverán a celebrar la próxima ronda de negociaciones en un futuro próximo. Según la parte ucraniana, Rusia efectuó una nueva ronda ofensiva a gran escala a finales de abril, por lo que Ucrania tuvo que recurrir a "tácticas de tierra arrasada" para contraatacar. Aunque este método de destrucción de su propia infraestructura nacional a través de la descarga de inundaciones y el bombardeo de puentes ha logrado ciertos resultados y ha impedido la ofensiva rusa, también le ha costado a Ucrania un precio enorme. Hasta el 30 de abril, el día 65 de la guerra, según las estadísticas, se han volado más de 300 puentes en toda Ucrania y la infraestructura ha sufrido grandes pérdidas. Según datos oficiales, en estos dos meses, la infraestructura de transporte nacional de Ucrania ha sufrido daños por valor de hasta 85 000 millones de dólares.

El 90 % de las instalaciones y edificios civiles de la ciudad de Mariupol, ubicada en la región ucraniana de Donetsk, quedaron completamente destruidos. Estados Unidos ha pasado de la ayuda de emergencia inicial a la extraordinaria actual, que tiene como objetivo derribar a Rusia y hacer que sea imposible soportar el aumento de las sanciones militares debido al aumento de duración de la batalla. Aunque algunos analistas señalaron que Rusia cortó el suministro de gas a Polonia y Bulgaria el 27 de abril, coincidiendo con el anuncio del gobierno alemán de enviar decenas de tanques guepardo a Ucrania, la intención por parte de Rusia era mandar una señal de advertencia a Berlín de que Alemania puede ser el siguiente después de Polonia. El presidente de la Comisión Europea, von der Leyen, declaró públicamente que "el Kremlin está tratando de chantajearnos con combustibles fósiles". Al mismo tiempo, algunas empresas europeas han comenzado a pagar en rublos o han abierto cuentas en rublos en bancos rusos. Gazprom dijo el día 28 que la demanda europea de gas natural ruso ha aumentado sin cesar, de 49 millones de metros cúbicos el día anterior a 63 millones de metros cúbicos. La dependencia de Europa de los combustibles fósiles de Rusia nos pone a merced de él y hace pensar que Rusia confía en sí misma.

El primer ministro polaco propuso el 27 de abril imponer aranceles del 25 % al 35 % sobre el petróleo crudo, el gas natural y la energía del carbón rusos. Sin embargo, según Clemens Foster, director del Instituto Leibniz de Investigación Económica de la Universidad de Múnich en Alemania, el aumento de las tarifas de aranceles sobre Rusia no tendrá un efecto inmediato, porque el Banco Central de Rusia todavía tiene 300 mil millones de reservas de divisas; muchas de las cuales existen en forma de oro (que puede usarse en caso de emergencia), por lo que es poco probable que la idea del primer ministro polaco tenga un impacto en la guerra.

Posteriormente, la UE celebró una reunión de emergencia con los ministros de energía en Bruselas el 2 de mayo. El fin era discutir el impacto de la situación en Rusia y Ucrania por el suministro de energía de la UE; especialmente cómo lidiar con la suspensión del suministro de gas natural de Rusia a los países de la UE. La comisaria europea a cargo de asuntos energéticos, Kadri Simson, realizó una conferencia de prensa después de la reunión y dijo que cualquier estado miembro de la UE podría ser el próximo en ver "cortado el suministro". La tarea más urgente, de este modo, es llevar a cabo tres aspectos. En primer lugar, mejorar el plan de emergencia para el suministro de gas. En segundo lugar, asegurar el almacenamiento de gas antes de la próxima temporada de calefacción, y, por último, diversificar el suministro a través de la plataforma energética de la UE. Al mismo tiempo, la autora de esta tesis también cree que encontrar otras fuentes de energía nuevas para reemplazar las fuentes de energía tradicionales es una solución fundamental a largo plazo.

Tanto Rusia como Ucrania son perdedores en esta guerra, y al igual que los países vecinos de la UE. La autora no quiere hacer ningún comentario sobre los países que han brindado asistencia militar a Ucrania en esta guerra, pero lo cierto es que el complejo militar-industrial de Estados Unidos ha hecho una gran fortuna, y los dos fabricantes de armas de Estados Unidos, *Lockheed Martin (LMT)* y *Raytheon Technologies (RTX)* dispararon sus acciones de \$382 a \$441 y de \$94 a \$98, respectivamente, en solo dos meses de la guerra.

Si nos preguntamos quién se beneficiará de esta guerra, la autora no cree que haya un verdadero ganador. Al menos, países europeos como España pierden, a excepción de algún país que ha acumulado una rica experiencia en hacer fortunas bélicas gracias a las dos guerras mundiales anteriores (promoverán activamente esta guerra y se beneficiarán de ella, algo que no está dentro de la discusión de esta tesis). La página web *American People's World*, por ejemplo, citó "las principales compañías de petróleo y gas en los Estados Unidos y algunos países occidentales han generado mucho ingreso por la guerra ruso-ucraniana, ya que los precios mundiales de la energía se han disparado por falta de suministro. Actualmente, *Shell Royal Dutch/Shell Group of Companies*, *ExxonMobil EXXonMobil* y *BP*, como monopolios multinacionales de petróleo y gas, y sus redes asociadas de compañías de perforación y transporte, están tratando de apoderarse de la participación de Rusia en las exportaciones de petróleo y gas".

A raíz del conflicto entre Rusia y Ucrania, la UE se ha fijado el objetivo de reducir su dependencia del gas ruso en dos tercios este año y poner fin a todas las importaciones de combustibles fósiles rusos para 2030. Estados Unidos y la UE anunciaron a finales de marzo

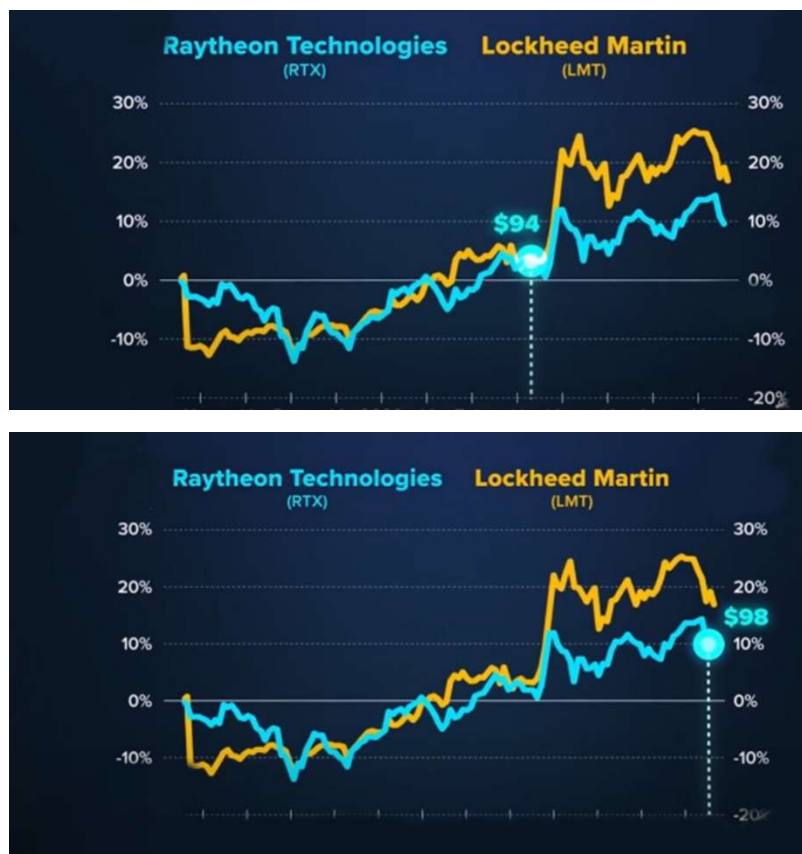


que el país americano suministrará a la Unión Europea 15 mil millones de metros cúbicos adicionales de GNL este mismo año. Por un lado, Estados Unidos pide a los países europeos que dejen de importar petróleo ruso y, por otro, aumenta sigilosamente sus importaciones de Rusia para venderlo a Europa a un precio mayor. Según datos de la Administración de Información de Energía de Estados Unidos, del 19 al 25 de marzo, la cantidad de petróleo importada por Estados Unidos desde Rusia aumentó respecto a la semana anterior un 43 %, hasta los 100 000 barriles diarios. El sitio web *American People's World* apuntó: "Para los gigantes energéticos estadounidenses, este terremoto geopolítico significa enormes cantidades de ganancias". Los beneficios tanto económicos como militares son evidentes.

Al deshacerse de su dependencia de la energía rusa, Europa puede evitar ser utilizada por otros países y sufrir enormes pérdidas económicas y militares en la guerra, resolviendo el problema de raíz, ya que la única manera de que cualquier país o región evite la guerra o se deshaga del control de otros países es obtener la independencia y autonomía energética. En última instancia, la causa de todas las contradicciones es la energía; si bien el problema energético actual aún no se ha resuelto, el deseo de que esta guerra termine lo antes posible no ha cambiado.

**Figura 11.** Incremento de precio de las acciones de los dos fabricantes de armas de Estados Unidos, *Lockheed Martin (LMT)* y *Raytheon Technologies (RTX)* en los dos meses de la guerra.





Fuente: China CCTV4 Internacional

Finalmente, a la autora le gustaría aportar que su discusión se basa en intereses reales y geoestratégicos, y no pretende hacer acusaciones inexplicables sobre historias, medidas o actitudes estratégicas de diferentes países. En cambio, sí analiza las razones del ataque de Rusia a Ucrania basándose en hechos y deduce que los componentes principales de esas razones son: la ubicación geográfica, los cambios históricos, las principales fuentes económicas, las posibles amenazas económicas, los cambios en la situación política, el despliegue estratégico militar, la fuerza militar actual, la escasez de población, el clima, los recursos hídricos o la extracción de energía, entre otros.

A través del método de exclusión se confirman las razones principales, llegando a encontrar, de este modo, soluciones desde la raíz y analizando su viabilidad. Incluso si no fuese posible detener la guerra actual, se espera que, al investigar la causa, podamos hacer una pequeña contribución para encontrar una manera de evitar las contradicciones y la recurrencia de guerras en el futuro.

La esencia de los problemas sociales en el mundo actual tiene un carácter económico, y la energía es una parte importante de los problemas económicos de hoy. Por lo tanto, esta tesis iniciará y aportará una serie de discusiones centradas en la energía.

## 1.2 Estudio de las implicaciones energéticas de los últimos acontecimientos mundiales

Después de discutir que las causas de la guerra actual están estrechamente relacionadas con la energía, a la autora le parece interesante estudiar las **implicaciones energéticas de los últimos acontecimientos mundiales** recientes.

### 1.2.1 Gas natural: determinar su dirección de desarrollo

**El gas natural es una energía de transición.** En comparación con el petróleo y el carbón, el gas natural produce menos contaminación ambiental con respecto a las fuentes de energía fósiles contemporáneas. Y si sumamos sus grandes reservas en todo el mundo, se convierte en una fuente de energía de transición desde la energía fósil hasta la energía sostenible en el mundo actual.

En términos de capacidad de producción, los países árabes son los líderes absolutos en la producción mundial de gas natural. Según las estadísticas del Informe Económico Unificado Árabe (2021), la producción mundial de gas en 2020 fue de 3,8 billones de metros cúbicos, de los cuales:

- Estados Unidos es el principal productor, con una producción de aproximadamente 914 mil millones de metros cúbicos.
- Rusia ocupa el segundo lugar con una participación de 638 mil millones de metros cúbicos.
- China ocupa el tercer lugar con 194 mil millones de metros cúbicos.
- Qatar ocupa el cuarto lugar con 171 mil millones de metros cúbicos.
- Luego viene Canadá, con 165 mil millones de metros cúbicos.
- Arabia Saudita tiene 112 mil millones de metros cúbicos.
- Noruega tiene 111 mil quinientos millones de metros cúbicos.

En términos de reservas, las cantidades mundiales de gas natural son 205 billones de metros cúbicos. Rusia lidera el ranking con una capacidad de 47,2 billones de metros cúbicos, seguida por Irán, con 34 billones de metros cúbicos, y Qatar, con 23,8 billones de metros cúbicos. Seguiría Estados Unidos, con reservas de 12,8 billones de metros cúbicos, y China, con 6,5 billones de metros cúbicos.

En lo que respecta a las exportaciones, la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo publicó recientemente un informe que monitoriza el desarrollo de gas natural en el mercado global. Los datos muestran que, en el último trimestre de 2021, y a lo largo de todo el año, las exportaciones mundiales de gas natural han alcanzado niveles no vistos en 50 años en toda la industria del gas natural. Las exportaciones de GNL ascendieron a alrededor de 380 millones de toneladas, un aumento del 7 % con respecto a los 355,1 millones de toneladas en 2020, lo que implica que la industria de GNL está desempeñando un papel cada vez mayor en

el mercado energético mundial.

Australia ocupa el primer lugar con un volumen de exportación de 80 millones de toneladas, mientras que Qatar ocupa el segundo lugar con una exportación de 77,4 millones de toneladas (anteriormente, Qatar fue el primer exportador mundial de GNL durante varios años consecutivos). Estados Unidos ocupa el tercer lugar, con 71 millones de toneladas, y Rusia, el cuarto, con 29,3 millones de toneladas.

En términos de importaciones, los mercados asiático y europeo son las regiones con mayor demanda de GNL en el mundo. Según datos de 2021:

China encabeza la lista de importadores de gas natural con una cantidad estimada de 78,5 millones de toneladas. Japón, por primera vez desde que comenzó a desarrollar dicha industria, en la década de 1960, ha ocupado el segundo lugar entre los importadores mundiales, importando 74,4 millones de toneladas. En tercer lugar, se encuentra Corea del Sur, que importó 45,4 millones de toneladas.

En comparación con el mercado asiático, el mayor mercado de importación es el mercado europeo. El año pasado, Europa importó 77,7 millones de toneladas, un 5 % menos que los 81,9 millones de toneladas importados en 2020.

Europa cubrirá su demanda de GNL a través de cinco países en 2021, principalmente: Estados Unidos (31 %), Qatar (21 %), Rusia (18 %), Argelia (13 %) y Nigeria (11 %).

Según los datos de 2020 y 2021 de la Agencia de Cooperación de los Reguladores de la Energía de la Unión Europea, podemos ver, en la proporción de gas natural ruso importado por estos países, que Macedonia del Norte, Bosnia y Herzegovina, Moldavia y Letonia son completamente dependientes (100 %) del suministro de Rusia. Hungría y Finlandia también dependen casi por completo de los suministros rusos. Seguidos por Bulgaria (77 %), Austria (63 %), Alemania (49 %), Italia (46 %) y Polonia (40 %), que también dependen en gran medida del gas ruso. En comparación con estos países, España, Francia, los Países Bajos, Rumanía, Portugal y otros países han reducido su dependencia de las importaciones de gas natural ruso debido a la diversidad de sus propias importaciones de energía. Un ejemplo es Francia, ya que el gas natural que compra a Rusia solo supone un cuarto de su consumo de gas, ocupando este una pequeña proporción dentro de la estructura de su energía. E, incluso, por encima de Francia, hay países que apenas se vieron afectados por la crisis energética provocada por la guerra ruso-ucraniana, como Noruega, Austria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Irlanda, Islandia, Malta y Suiza, al no ser dependientes del gas natural ruso.

## PAÍSES DE EUROPA QUE IMPORTAN MÁS GAS RUSO

100 % Macedonia del Norte

100 % Bosnia-Herzegovina

100 % Moldavia

100 % Letonia

95 % Hungría

94 % Finlandia

77 % Bulgaria

63 % Austria

49 % Alemania

46 % Italia

40 % Polonia

24 % Francia

11 % Países Bajos

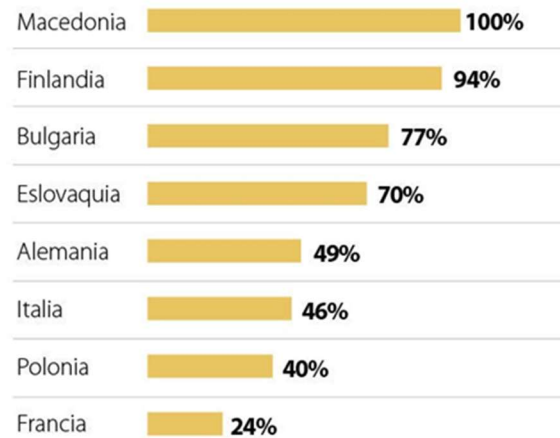
10 % Rumanía

10 % Portugal

9 % España

6 % Georgia

### PAÍSES EUROPEOS MÁS DEPENDIENTES DEL GAS RUSO



Gas natural usado por la UE proveniente de Rusia **41%**



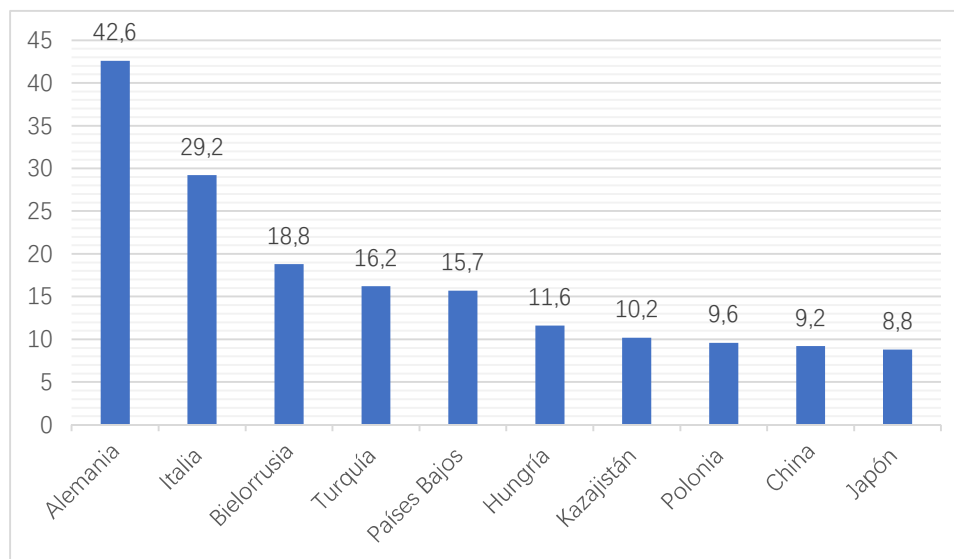
### IMPORTACIONES EUROPEAS POR TIPO DE GAS



**Figura 12.** Países Europeos más dependientes del gas Ruso.

Fuente: El País.

**Figura 13.** Exportaciones de gas ruso (Miles de millones de metros cúbicos importados desde Rusia)



Fuente: Agencia internacional de Energía. Datos 2020. [larepublica.co](http://larepublica.co)

### PRECIOS DEL GAS NATURAL EN EL MERCADO MUNDIAL

El gas natural, al igual que el petróleo, tiene dos mercados de precios. Uno es el mercado de largo plazo, que suele disfrutar de precios más bajos y garantiza el flujo continuo. Por otro lado, el segundo es el mercado de negociación de emergencia, que suele utilizarse para atender necesidades urgentes provocadas por conflictos en la negociación a largo plazo; ya sea por motivos de seguridad, inestabilidad política o factores que conducen a un aumento de la demanda que no se tienen en cuenta.

Rusia está dispuesta a cumplir contratos a largo plazo, pero su renuncia a aumentar la extracción adicional de gas natural también se ha traducido en precios más altos en el mercado internacional. Tanto el aumento por parte de Rusia de los suministros internos para satisfacer la demanda de invierno y la guerra ruso-ucraniana han afectado directamente a la subida de precio del gas natural.

Entre octubre de 2021 y diciembre de 2021, los precios del gas natural en el mercado europeo de negociación de emergencia oscilaron entre \$24 y \$37 por millón de unidades térmicas británicas, mientras que en el mercado asiático los precios oscilaron entre \$33 y \$38 por millón de unidades térmicas británicas durante el mismo período. El contrato a largo plazo tiene un precio de \$10,7 por millón de unidades térmicas británicas.

El almacenamiento y el transporte son las principales dificultades encontradas en el proceso de aprovechamiento de gas natural. Hay dos formas de transportarlo. Por un lado, la solución de

tubería de gas natural es muy económica, pero sería un proyecto de largo alcance si necesita cruzar el océano. En este caso, el gas natural debe convertirse y pasar de estado gaseoso a líquido (el gasoducto de gas natural más famoso se extiende desde Siberia, pasando por Rusia hasta los países europeos, con una longitud total de 6400 kilómetros, aunque también está el gasoducto *Nord Stream 2*, construido por Alemania a un costo de 10 mil millones de dólares para evitar que sea robado o destruido por otros países por el camino, los cuales transportan directamente a Alemania). Además, los tanques son el principal vehículo de transporte de corta distancia de gas natural licuado (*Liquefied Natural Gas*) y gas natural comprimido (*Compressed Natural Gas*). El último lugar, los buques de GNL son el mejor medio de transporte para transportar GNL a través del océano.

**Figura 14 y 15.** Tanques y buques de GNL



Por lo tanto, podemos ver que, en términos de producción, reservas, exportación e importación, aumento de precios de mercado y transporte, Rusia es un gran país energético de gas natural, y Europa depende mucho de él, por lo que la guerra ruso-ucraniana ha hecho que Europa se enfrente a una crisis de escasez de gas natural. Según Eurostat, a fines del año pasado, el 41 % del gas de la UE provenía de Rusia, mientras que el Servicio de Control de Energía de Rusia dijo que, a fines de diciembre de 2021, este nivel subió hasta casi el 50 %.

El 27 de abril, Rusia cortó el suministro de gas a Polonia y Bulgaria porque no querían pagar en rublos. La medida se produce cuando los dos países no operan bajo un decreto presentado por Putin que requiere pagos en rublos de países considerados "hostiles" en la guerra de Ucrania. Mientras que algunos países abrieron cuentas en rublos con empresas industriales rusas y comenzaron a comerciar con esta moneda, muchos países europeos han anunciado su negativa a pagar con ella, por lo que Putin ha advertido que Rusia dejará de realizar envíos a estos países.

Debido a que Rusia declaró a Donetsk y Luhansk áreas independientes en contra de los deseos de la OTAN, y Alemania, como miembro de la OTAN, no puede oponerse a la actitud de esta hacia Rusia, ha suspendido la licencia de *Nord Stream 2*, haciendo que, lo que habrían sido oleoductos adicionales de suministro de energía de Rusia a Alemania, se vieran obligados a detenerse. El propósito de esta medida es dañar los intereses de Rusia, pero, al mismo tiempo, Alemania ha de enfrentarse al peligro de un corte de gas. La infraestructura transporta anualmente 55 000 millones de metros cúbicos de gas natural, lo que equivale al consumo de 26 millones de hogares. Si bien el oleoducto completó su instalación en septiembre y se encuentra en pruebas, los reguladores alemanes decidieron archivarlo en respuesta a una

solicitud de Estados Unidos para sancionar a Rusia. Posteriormente, el canciller alemán Olaf Scholz declaró públicamente: "Debemos reevaluar la situación, especialmente con respecto al *Nord Stream 2*". Alemania está ahora en el dilema.

Afortunadamente, también existe una red de gasoductos de gas natural llamada *Nord Stream I* que todavía está en funcionamiento. Está conectado directamente con Alemania a través del Mar Báltico (Bielorrusia y Polonia) para llevar el gas de Rusia a Europa.

Desde el punto de vista de **España**, Argelia y Estados Unidos son sus principales países importadores de gas natural. Según datos de CORES, el 42,83 % de las importaciones españolas de gas natural del año pasado procedieron de Argelia, transportado a través del gasoducto argelino Medgaz (el otro método es enviar buques gaseros con gas licuado a España por mar como se mencionó anteriormente). El gas procedente de Estados Unidos supone el 14,39 % de las importaciones totales de gas natural de España, lo que resta importancia a Rusia como importador de gas en este país. Según las estadísticas de Enagás, cuando hubo el problema de abastecimiento en enero de 2022, el 34,6 % de las importaciones llegaron desde Estados Unidos, superando el 25,4 % que se produjeron desde Argelia, convirtiéndose en un buen sustituto de emergencia para España. Cabe mencionar aquí que el precio de importar gas licuado de Estados Unidos a través de buques gaseros es muy elevado, y no solo eso, sino que el año pasado Estados Unidos elevó el precio del gas natural de sus exportaciones al máximo en toda su historia.

Según datos de CORES, España importó el 10,43 % de su gas natural de Rusia en 2020, y esta cifra descendió hasta el 8,9% en 2021. En comparación con otros países europeos, la dependencia de España con respecto al gas ruso es muy baja.

Lo que sí hay que destacar es que España cuenta con más de 15 países diferentes proveedores de gas natural: Francia (4,86 %), Qatar (6,30 %), Trinidad y Tobago (2,95 %) son algunos ejemplos. Y la existencia de estos países como proveedores impidió que España corriera un peligro realmente serio de corte de gas en esta guerra ruso-ucraniana. Aun así, si Rusia corta el suministro de gas natural a más países europeos, la subida de precios afectará directamente a España, por muchos países que aporten el recurso o por muy garantizado que esté el suministro. De hecho, debido a la influencia de la guerra entre Ucrania y Rusia, el precio del gas natural en Europa ha aumentado velozmente y los países europeos están experimentando aumentos materiales causados por la subida del precio de la energía.

Si bien Estados Unidos no es la primera opción de España para importar grandes cantidades de gas natural debido al precio, con Argelia se añade la preocupación por la seguridad. Argelia posee contactos y contratos con Rusia, lo que conlleva que el suministro de gas natural de Argelia no sea tan estable. Desde 2007, la alianza de gas entre Argelia y Rusia firmada por Sonatrach y Gazprom ha suministrado más del 27 % del gas a Europa. Más allá de los contratos con beneficios económicos y legales, lo que no se puede ignorar es la amistad nacional de larga duración y la historia entre Argelia y Rusia; una amistad reconocida por ambas partes y en todos los aspectos (desde 1963 hasta la actualidad) que nunca se ha interrumpido. Particularmente, Argelia tiene un innegable peso en lo que se refiere a cuestiones tocantes a países africanos



(Argelia ha jugado un papel importante en la promoción del tema de Israel: la revisión de la Unión Africana sobre el estatus de los observadores judíos. En Sáhara Occidental, el aliado del nuevo jefe de asuntos exteriores de Argelia socavó/destruyó las pretensiones de Marruecos, tanto en las Naciones Unidas o en la UA.) Todo esto lo convierte en el primer aliado de Rusia en África, y su amistad diplomática y el beneficio mutuo tanto económico como comercial también servirán como modelo para que Rusia desarrolle otros aliados africanos.

Al mismo tiempo, además de las tensiones con Rusia y Europa, las tensiones históricas entre Francia y Argelia también han reducido nuestra confianza en el suministro continuo de gas de Argelia a Europa. Al fin y al cabo, en el pasado, cuando Argelia quiso ampliar la red de gasoductos Midi-Cataluña (MidCat) que transporta gas licuado e hidrógeno verde que llegaba hasta España y Europa central, especialmente a Alemania, Francia se ha negado en repetidas ocasiones a validar el proyecto (2019). Por lo tanto, en este momento de crisis, es probable que Argelia refuerce la posición de Rusia para presionar a Francia y acercarse a Europa. Sin embargo, París ha seguido demostrando en los últimos meses que no aliviará las tensiones con Argelia, lo que complica aún más las cosas.

**Italia**, como Alemania, también corre el riesgo de sufrir un corte de gas, ya que el 40 % de la energía de Italia proviene del gas natural, y aproximadamente la mitad del cual proviene de Rusia. El gobierno italiano ya ha gastado alrededor de 1200 millones de euros para frenar el aumento de los precios de la energía doméstica y promete otros 3000 millones de euros para ayudar en 2022. El primer ministro, Mario Draghi, dijo que los costos del sistema se deducirían de las facturas de gas y electricidad, las cuales estaban destinadas a ayudar con la transición a la energía sostenible; pero ahora se utilizan para ayudar a los hogares de bajos ingresos a reducir la presión sobre los precios de la energía en alza. Al mismo tiempo, entendemos que Italia ha perdido un importante incentivo financiero para el desarrollo de energía sostenible. A la larga, Italia necesita promover la diversificación energética como España, deshacerse de su dependencia del gas natural lo antes posible y promover el uso de energía sostenible lo antes posible.

**Polonia** es un país que utiliza carbón como combustible principal. El gobierno considera que el gas natural es un combustible de transición para reemplazar las centrales eléctricas de carbón envejecidas. Sin embargo, debido a los conflictos políticos entre Polonia y Rusia, este problema energético y económico se ha vuelto extremadamente complicado. El plan original de Polonia era usar gas natural de los Estados Unidos y Noruega para evitar las altas tarifas de gas de Rusia, pero la guerra entre Ucrania y Rusia hizo que Rusia cortara unilateralmente y repentinamente el suministro a Polonia el 27 de abril, aunque luego el suministro inverso de Alemania ayudó a Polonia. Al mismo tiempo, debemos de ver que el mercado solar polaco es uno de los de más rápido crecimiento en Europa y que las empresas polacas de propiedad estatal también están planeando grandes inversiones en energía eólica marina.

**Reino Unido**, por su parte, no está en peligro de quedarse sin gas, ya que Rusia solo suministra el 5 % de tu total, pero, como ya se ha comentado con anterioridad, el precio disparado afecta a todos los países.

**Noruega**, aunque no es un país de la UE, es uno de los mayores países productores de gas natural de Europa, y una pequeña parte de esta energía se utiliza para sus propias necesidades. Solo el 1,4 % de su electricidad se genera a partir de combustibles fósiles y residuos, con el 92,9 % de su electricidad primaria procedente de la energía hidroeléctrica y el 5,8 % de la energía eólica. Por lo tanto, *Equinor Energy*, de Noruega, aumentará sus exportaciones de gas natural en 2 mil millones de metros cúbicos en 2022 para satisfacer las necesidades energéticas de Europa y el Reino Unido. Por lo tanto, el impacto es mucho menor que en el resto de países europeos.

**Estados Unidos**, por el contrario, no importa gas natural ruso, así que apenas se ve afectado.

**Ucrania** sí que necesita priorizar tanto como sea posible el uso de gas natural para la generación de energía con el fin de aumentar las reservas estratégicas de carbón del país, debido a las posibles interrupciones del suministro. Ucrania depende de Rusia para la mayoría de sus importaciones de carbón, sin embargo, en lo referente al gas natural, este puede transportarse a través de países europeos.

**Figura 16.** Cambio de los precios globales del gas

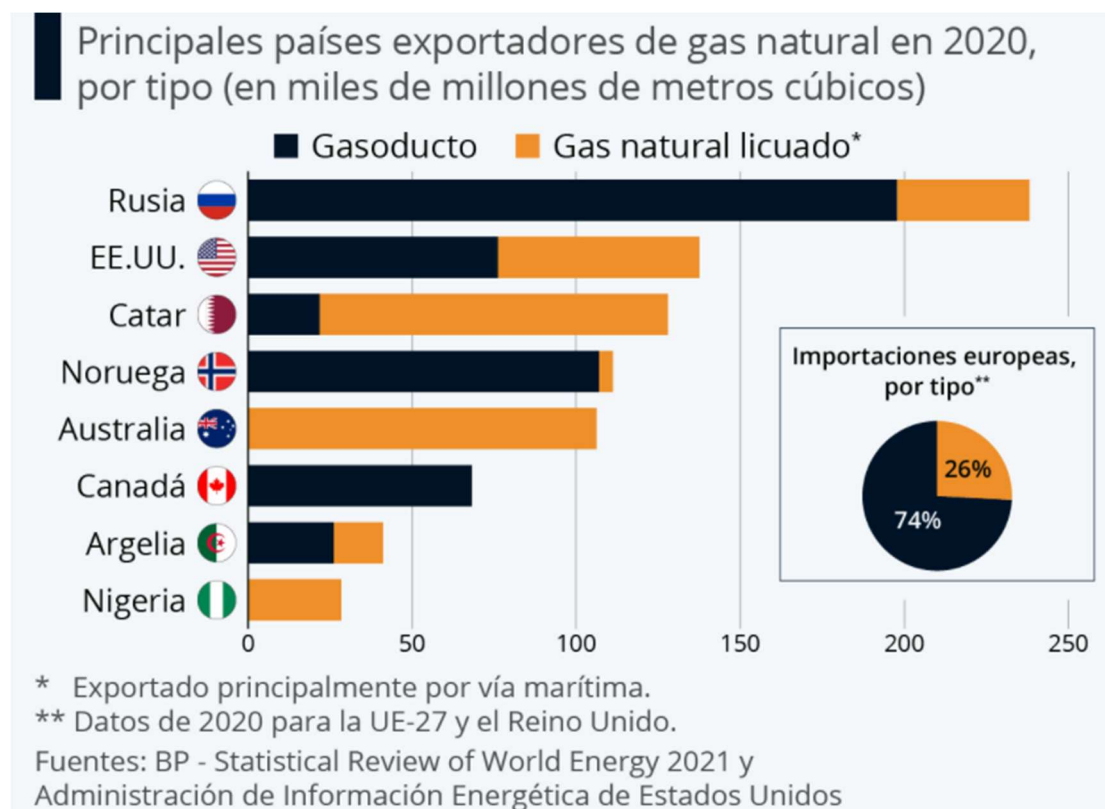


Fuente: Bloomberg, 8de marzo de 2022.

Teniendo en cuenta esta situación de tanta inestabilidad, al igual que España, todos los países de la UE deben encontrar alternativas como la energía sostenible. Sin embargo, debemos tener claro que esto no es inmediato, y resulta muy difícil de lograr a corto plazo (especialmente por el papel absolutamente vital de Rusia en la energía mundial). Según la Administración de Información Energética de Estados Unidos, casi el 75 % del suministro de gas natural en Europa (UE 27 y Reino Unido) se transporta actualmente por tubería. Como dijo el ministro de Energía

de Qatar, Saad al Kaabi, ningún país tiene la capacidad y la producción para reemplazar a Rusia, porque, aunque además de Rusia, Noruega y Argelia también exportan gas natural a Europa a través de gasoductos, estos dos países no tienen capacidad de producción adicional. Por tanto, la UE debe encontrar otros proveedores de GNL. Como se muestra, los principales exportadores de GNL son Estados Unidos, Qatar y Australia, pero el ministro de Energía de Qatar afirmó que su país solo podría reemplazar (como máximo) el 15 % de su gas natural debido al contrato actual a largo plazo con Estados Unidos.

**Figura 17.** Principales países exportadores de gas natural en 2020 por tipo.



Fuente: Statista. <https://es.statista.com/grafico/26930/principales-paises-exportadores-de-gas-natural/>

Teniendo en cuenta estos factores, como que las sanciones económicas de la guerra son demasiado altas, o que la OTAN obliga a Rusia a arrinconarse y Putin reacciona cortando completamente el gas, la UE se enfrenta a una crisis incontrolable que se traduce en un corte imparable de suministro y la subida continua del precio de la calefacción (que ya estaba cara actualmente al dispararse el precio del gas natural). Por lo tanto, en este momento, es probable que Europa importe más GNL de los Estados Unidos.

Llegados a este punto, la autora se pregunta lo siguiente: si Europa sigue las directrices de los Estados Unidos (como enviar armas a Ucrania) manteniendo una confrontación política con Rusia, esto dará lugar a que Rusia corte el gas a Europa cuando esta depende de él, lo que conllevará una crisis energética. Europa tendrá que importar GNL más caro de los Estados Unidos, pagando tarifas más elevadas. Estados Unidos, sin embargo, no se verá afectado incluso apoyando a Ucrania, dado que no importa gas ruso. Por tanto, el resultado final es que Estados

Unidos está sano y salvo, mientras que Europa pagará la mayor parte de las crisis y las pérdidas de esta guerra. ¿Es este el resultado que queremos? La respuesta es evidente.

Encontrar fuentes de energía alternativas es, por supuesto, la mejor manera, lo que puede llevar a aumentar el uso de otras fuentes de energía, pero no son a corto plazo ni fáciles de lograr. Debido a que el desarrollo de la energía sostenible requiere de tiempo, se podría completar con acuerdos políticos y una gran inversión de capital. Por lo tanto, una posible solución temporal a la guerra sería establecer centrales eléctricas de carbón, una alternativa que Alemania e Italia están considerando en caso de emergencia. Y no solo eso, sino que la Unión Europea también ha propuesto exigir a sus Estados miembros que llenen sus reservas de gas natural hasta el nivel registrado, para garantizar la seguridad del suministro de energía a corto plazo en Europa. Además, el comisario de Energía de la UE, Kadri Simso, recordó que el gas natural se puede almacenar en cavernas de sal o en yacimientos de gas agotados, para que pueda usarse en caso de cortes de energía, interrupciones de infraestructura o clima inusualmente frío. Aunque el almacenamiento de gas en Europa es ahora del 32 % de la capacidad total (en comparación con el 40 % del año anterior) este enfoque aún puede ser una posibilidad de reposición durante un período concreto. Algunos funcionarios de la UE dijeron: "Actualmente no proponemos reservas estratégicas de gas natural similares a la que tenemos en los productos derivados del petróleo". Por su parte, el presidente ruso, Vladimir Putin, lo dejó claro en una declaración escrita en la cumbre del gas celebrada en Qatar: "Rusia apunta a mantener suministros ininterrumpidos a los mercados mundiales (incluyendo el gas natural licuado), mejorar la infraestructura relacionada y aumentar las inversiones en el sector del gas". Pero resulta que las declaraciones y garantías escritas palidecen y son impotentes ante la guerra.

**Las inversiones en infraestructura y las políticas preferenciales para utilizar gas natural crean el llamado *lock-in*, que llevará a quienes han invertido capital a querer seguir desarrollando y utilizando gas natural.** El sistema de energía fósil resultante posee una inercia que lleva a seguir utilizando energía fósil incluso si surgen posibles tecnologías alternativas bajas en carbón, lo que socava nuestra capacidad para reducir las emisiones y cumplir los objetivos climáticos en el futuro.

Tomemos *Nord Stream 2* como ejemplo, un proyecto conjunto entre el gigante gasista ruso Gazprom y cinco empresas europeas. El oleoducto se alargó más de 10 años desde la evaluación hasta su finalización y costó 9500 millones de euros. Gazprom invertirá el 50 %, y el resto será financiado y garantizado por cinco empresas europeas, cada una con un 10 %. Una vez completado, los inversionistas esperan usar este gasoducto tanto como sea posible, recuperando el costo de inversión de la construcción de la infraestructura en beneficio del transporte de gas natural. Ahora, debido a la guerra, este oleoducto tiene que cerrarse por adelantado, lo que conduce directamente a un despilfarro de capital, traducéndose en "capital congelado". Incluso si no hay causa para la guerra, el gas natural, como energía fósil, debe retirarse antes de la vida útil normal de los activos de energía fósil para que sus emisiones cumplan con el Acuerdo de París, lo que también genera un problema de despilfarro de capital. Los principales inversores estarán en contra.

Este *lock-in* no es solo una cuestión de inversión en infraestructura de energía fósil. Cuando se

establece un sistema energético, también se crea un conjunto de reglas e instituciones para apoyarlo. Y cuando todos los departamentos gubernamentales se están adaptando a la producción de combustibles fósiles, es muy difícil superar este *lock-in*, sobre todo si numerosos servicios en una comunidad (incluidas escuelas, museos y deportes) apoyan a todas las industrias que dependen de los combustibles fósiles. Para las tecnologías alternativas bajas en carbono recién ingresadas en la sociedad, es difícil competir con las energías existentes, incluso si el costo es menor. Esta es la razón por la cual algunas autoridades gubernamentales y reguladoras, por razones de regulación política, pueden seguir favoreciendo las fuentes de energía convencionales, a pesar de que los costes económicos, ambientales y sociales muestren la dirección opuesta.

Debido a que el origen histórico de la industria energética tradicional está estrechamente relacionado con la estructura económica, el empleo, el nivel de desarrollo tecnológico, la estructura energética, etc., el peso de la energía tradicional afectará a todo el cuerpo.

**Igualmente, hay que tener en cuenta que el gas natural también contamina el medio ambiente, aunque menos que el carbón y el petróleo.** El gas natural licuado (GNL), no es 100 % metano. Si bien en su mayoría está compuesto por metano, el resto de los componentes son muy complejos, incluyendo desde el C1 hasta el C9, e incluso hasta el C12; así como el agua, el nitrógeno, el sulfuro de dióxido de carbono, el hidrógeno, el gas helio y otros elementos. El metano no es un gas sostenible. Su efecto invernadero es 30 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>. La contaminación producida durante la combustión proviene principalmente de dos grandes partes: la primera parte es el azufre y algunos hidrocarburos insaturados (óxidos de carbono) producidos por la combustión incompleta; la lluvia ácida y el efecto invernadero son su principal consecuencia. La segunda parte son los óxidos de nitrógeno, los llamados fotocatalizadores, que son los responsables del tiempo de *smog*.

El gas natural, por supuesto, no supone cero emisiones y tampoco cero contaminaciones. La razón por la que se le llama erróneamente energía verde viene de compararlo con el petróleo y el carbón, que también son combustibles fósiles. Produce menos contaminación en el proceso de extracción, producción y transporte. En comparación con el petróleo, que requiere una refinación compleja, el gas natural se puede utilizar después de la desulfuración y la deshidratación. También es más simple de transportar. Si se entrega por gasoducto, la ventaja es contar con el costo fijo, y, si se envía por buques GNL, el precio es más económico. Asimismo, el transporte por tuberías y por los buques de GNL puede ser impulsado directamente por la quema del propio gas natural que transporte. Los residuos de combustión de gas natural, aunque no son muy bajos en carbono, son mucho más simples y limpios que el carbón y el petróleo. No se producirá polvo, partículas sólidas y tampoco demasiados hidrocarburos complejos, no habrá demasiada combustión incompleta y no se producirá un exceso de emisiones de dióxido de carbono. Hay que dejar claro que el gas natural no puede compararse con la energía eólica y solar en términos de emisiones y contaminación.

La energía nuclear también tiene ventajas y desventajas en comparación con el gas natural. La ventaja es que **la energía nuclear no emite gases de efecto invernadero**, es decir, no produce CO<sub>2</sub> que agrave el efecto invernadero global, por lo que la generación de energía nuclear no

causa contaminación del aire. Sin embargo, la gran cantidad de calor residual emitido por la generación de energía nuclear puede causar contaminación térmica, ya que las centrales nucleares emiten más calor residual que las centrales eléctricas de combustibles fósiles comunes, lo que llevará a estragos en la ecología marina. Dejar que el coral de alrededor muera, también conocido como coral candente, es uno de los problemas difíciles de salvar.

Otra de las ventajas del combustible nuclear es que su densidad energética es millones de veces superior a la de los combustibles fósiles como el gas natural, por lo que el combustible utilizado en las centrales nucleares es de reducido tamaño y muy cómodo de transportar y almacenar. Una planta de energía nuclear de 1000 megavatios requiere solo 30 toneladas de combustible de uranio al año, que puede ser entregado en un solo vuelo de avión. El gas natural requiere tuberías de transporte de miles de kilómetros (alrededor de 1222 kilómetros de largo para *Nord Stream 2*).

Al mismo tiempo, el costo de combustible de la energía nuclear representa una proporción relativamente baja con respecto al costo de la generación de energía, por lo que es menos susceptible a un gran impacto en la situación económica internacional. Así, el costo de la generación de energía es más estable que otros métodos de generación de energía. Sin embargo, debido a las propiedades naturales de sus reservas y la capacidad de producción, el precio del gas natural cambiará dependiendo de varios factores económicos y políticos internacionales, por lo que es difícil controlarlo.

La energía nuclear lo que sí tiene son dos defectos fatales, **uno de los cuales es que producirá desechos radiactivos que son difíciles de reciclar**. Estos desechos nucleares altamente radiactivos complican el almacenamiento y destino de los mismos, algo que siempre ha creado una gran controversia.

El segundo es su problema de seguridad. No importa lo limpia y económica que sea su fábrica y su planta de energía, ya que, una vez que ocurre una fuga nuclear, esta provocará contaminación, o incluso muerte, por radiación. Más allá de las lesiones que sufren los organismos circundantes infectados y del daño irreparable al medio ambiente, el daño a los seres humanos por la radiación es enorme, especialmente el daño irrecuperable a la vida humana, la salud y los genes humanos que pueden heredarse durante varias generaciones.

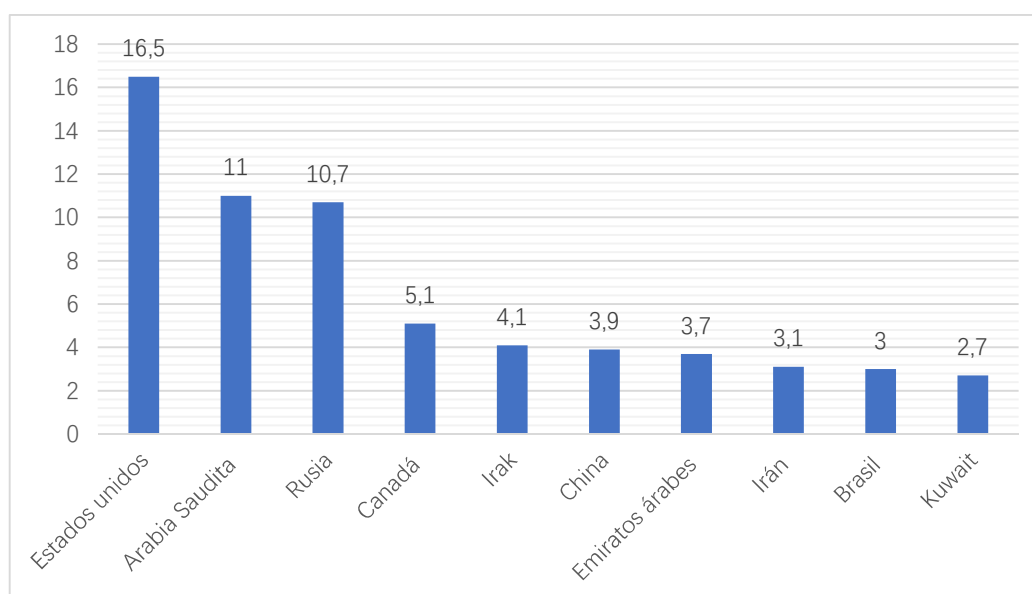
Por lo tanto, muchos países son cautelosos en lo que respecta al uso de energía nuclear. Por ejemplo, por razones de seguridad nacional y seguridad energética, Alemania ha renunciado a la energía nuclear. Cada país necesita hacer un plan de optimización energética en línea con sus propias condiciones nacionales y encontrar una fuente de energía económica y confiable. En la actualidad, el gas natural es la única energía que realmente puede llenar la brecha energética en esta etapa, en términos de reservas, precio y madurez. Como fuente de energía relativamente poco contaminante, y debido a sus interesantes propiedades técnicas, puede utilizarse no solo para el propósito principal de generar energía para la calefacción, sino también para la generación de electricidad, reemplazando al petróleo y al carbón para uso civil (fuente de energía de transición antes de llegar a la era de la energía limpia integral). Sin embargo, el gas natural no puede reemplazar a la gasolina en los automóviles. La razón principal es su

volatilidad. Mientras no se pueda aislar térmicamente por completo, seguirá volatilizándose. Por lo tanto, el principal problema a resolver para que el gas natural reemplace completamente a otros combustibles fósiles es aislar las pérdidas de calor y encontrar una forma de almacenar energía.

### 1.2.2 Petróleo: investigar sus alternativas

El petróleo se utiliza principalmente como fuel oil (combustible) y gasolina, y el combustible y la gasolina constituyen una de las fuentes de energía primaria más importantes del mundo. El 88 % del petróleo extraído actualmente se utiliza como combustible y gasolina, y el otro 12 % se utiliza como materia prima para la industria química; soluciones líquidas, fertilizantes, pesticidas, aceites, bases minerales para aceites lubricantes y plásticos. Rusia es el tercer mayor país productor de petróleo del mundo, después de Estados Unidos y Arabia Saudita. De los aproximadamente 5 millones de barriles diarios de crudo que Rusia exporta, más de la mitad se destina a Europa. Estados Unidos es muchísimo menos dependiente, con solo alrededor del 3 % del petróleo importado proveniente de Rusia en 2020. Por lo tanto, Estados Unidos tiene una dependencia menor del petróleo ruso con respecto a Europa, cuya dependencia es mucho mayor. En otras palabras, la crisis energética y las pérdidas económicas sufridas por Europa en la guerra ruso-ucraniana fueron mucho mayores que las de Estados Unidos. Por tanto, para Europa, mantenerse alejada de la guerra, centrarse en encontrar fuentes de energía alternativas y deshacerse de la dependencia energética de otros países lo antes posible puede evitar ser amenazada por Rusia en cuestión de energía o liderada políticamente por Estados Unidos, convirtiéndose en el siguiente estado miembro del país americano. Tal independencia energética puede reducir las pérdidas económicas al tiempo que aumenta la independencia política.

**Figura 18.** Los 10 mayores productores de petróleo (Millones de barriles producidos al día)



Fuente: Bloomberg. Datos 2020

Rusia es el mayor proveedor de petróleo de Europa, representando el 25,7 % del total de las importaciones europeas de petróleo en 2020; siendo Alemania, Polonia y los Países Bajos los mayores compradores europeos de petróleo ruso. En la siguiente figura, podemos ver que el 34 % del petróleo en Alemania, un importante país europeo, depende de Rusia. Italia el 11,1 % y Francia el 8,8 %, mientras que España importa de Rusia lo mínimo (un 1,8 %), ya que su principal importador de petróleo es Nigeria. Países como Hungría, Eslovaquia, República Checa y Bulgaria, expresaron su preocupación en mayo de 2022 cuando la Comisión Europea propuso planes para imponer un embargo petrolero a Rusia en su sexto conjunto de sanciones, ya que casi todo el petróleo crudo importado de Eslovaquia (como también sucede en Hungría) proviene de Rusia. Las importaciones se realizan principalmente a través del Oleoducto Druzhba de la era soviética.

Figura 19. Países suministradora de gas

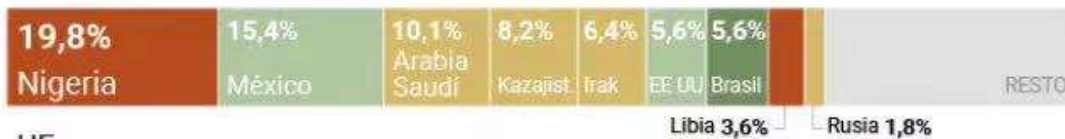
## ¿A quién compran petróleo los países de la UE?

EN % SOBRE EL TOTAL DE LA IMPORTACIÓN DE CADA PAÍS

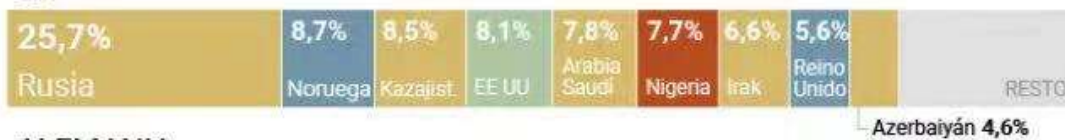
- Europa
- Asia
- África
- América del Norte
- América Central y del Sur



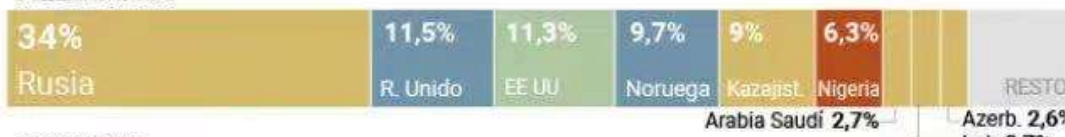
### ESPAÑA



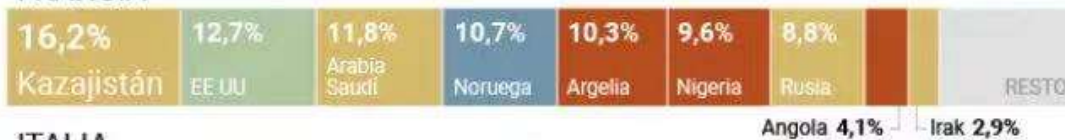
### UE



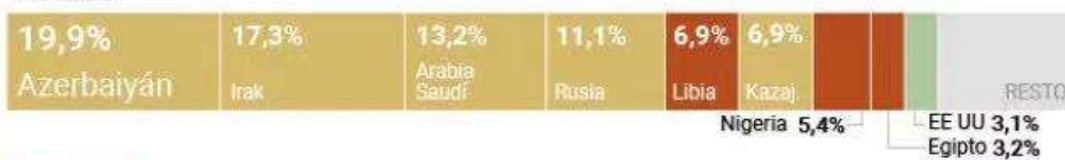
### ALEMANIA



### FRANCIA



### ITALIA



20minutos

Eurostat (2020) | GRÁFICO: H. de Pedro

Fuente: Eurostat (2020). Gráfico: 20 minutos. H. de Pedros.



La Comisión Europea tenía planeado eliminar gradualmente los suministros de petróleo crudo ruso para finales de 2022, al igual que los productos refinados. Un embargo similar impuesto por la Unión Europea al carbón ruso en abril entró en vigor de inmediato en el mercado, con un margen de cuatro meses para los contratos existentes. La Comisión Europea, al mismo tiempo, también está trabajando para acelerar la disponibilidad de suministros de energía alternativos en un intento por reducir el coste de prohibir el petróleo ruso.

Del mismo modo, la autora considera que, en el caso del petróleo, la solución a la actual crisis de suministro energético provocada por la guerra, es también encontrar fuentes alternativas. El petróleo no requiere la construcción de oleoductos de infraestructura como el gas natural, por lo que la forma más directa es obtener más recursos de otros lugares, como Arabia Saudita. Sin embargo, el país ha rechazado las demandas anteriores de Estados Unidos de aumentar la producción para reducir los precios del petróleo. Arabia Saudita es el mayor productor de la OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*), representando alrededor del 60 % del petróleo crudo comercializado internacionalmente. Por lo tanto, si la UE vuelve a comprarle a Estados Unidos, el mayor productor de petróleo del mundo, ¿qué precio cobrará Estados Unidos? La autora muestra una clara preocupación de que la UE tenga que pagar precios más altos por las importaciones de petróleo alternativo. La UE podría terminar enfrentándose a facturas de energía más altas y un desarrollo económico más lento.

A esto hay que añadir que, debido a la grave contaminación del petróleo, la solución fundamental al problema de la dependencia energética de este a largo plazo es definir un modo de transporte alternativo. La solución actual son los vehículos eléctricos, que han crecido enormemente en la industria desde 2020, pero cuyo problema es que puede que no haya materiales suficientes en el mundo para fabricar las baterías: elementos de níquel, cobalto y otros que también son necesarios.

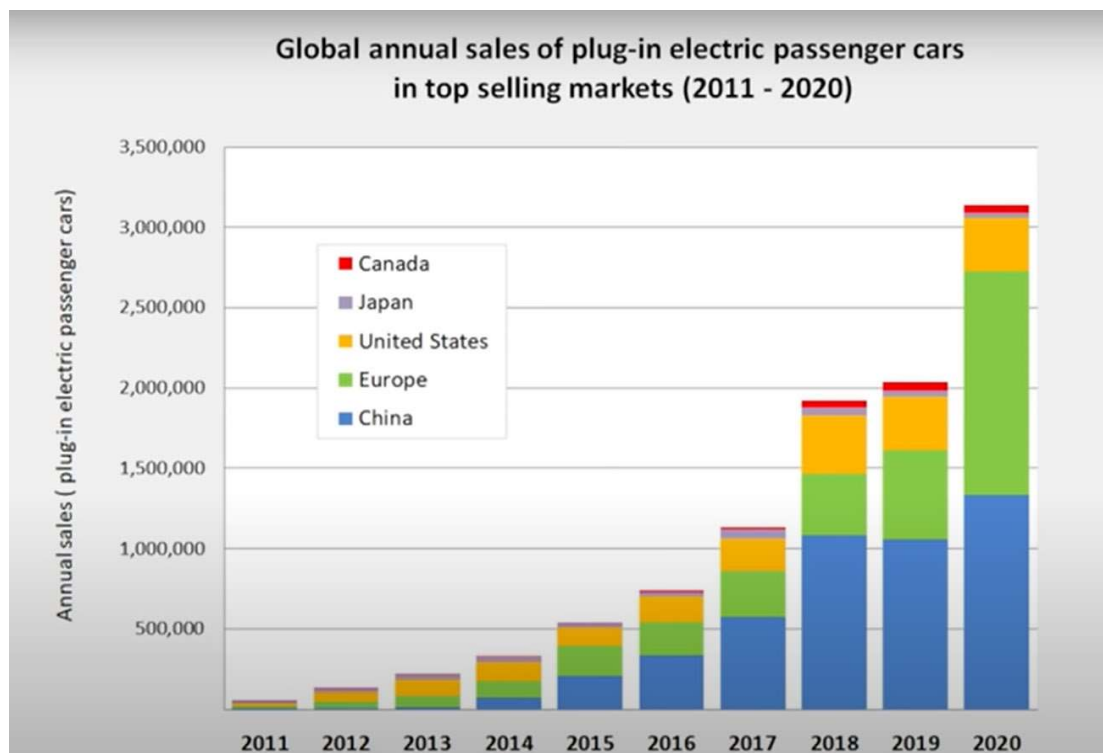
Hoy en día, en un momento en el que los vehículos eléctricos se han convertido en la creencia popular de que pueden salvar el mundo, el valor de mercado de Tesla, cuyo principal producto son los coches eléctricos, ha alcanzado los más de 680 mil millones de dólares estadounidenses. Este hecho significa que Tesla (número uno) ha alcanzado un valor mayor que la suma de los valores de mercado de los fabricantes de automóviles desde el número dos al octavo.

**Figura 20 y 21.** Valor de mercado de las marcas en el sector automóvil eléctricos

El hombre más rico del Reino Unido, James Dyson, anunció en septiembre de 2017 que invertiría 2000 millones de dólares para iniciar su propia investigación y posterior desarrollo de coches eléctricos. Pero, en el año 2019, decidió abandonar el proyecto de vehículos eléctricos. El hombre que ha estado investigando durante 5 años y que llegó a inventar la aspiradora Dyson (la aspiradora más popular en todo el mundo) ha anunciado que renuncia, lo que indica que realmente no puede continuar con esta investigación. El año 2019, por lo tanto, es el periodo de embotellamiento de este sector, siento estas las razones: no se venden bien, los clientes están insatisfechos, el capital no está dispuesto a reponer municiones, el gobierno ha reducido los subsidios y la competencia en el mercado sigue siendo extremadamente feroz.

Sin embargo, la situación dio un gran giro en 2020, cuando las acciones de Tesla se multiplicaron por cuatro en la segunda mitad del año, lo que se tradujo en que las ventas de vehículos eléctricos aumentaron un 39 % con respecto a 2019.

**Figura 22.** Valor Ventas anuales globales de turismos eléctricos enchufables en los mercados más vendidos (2011-2020)

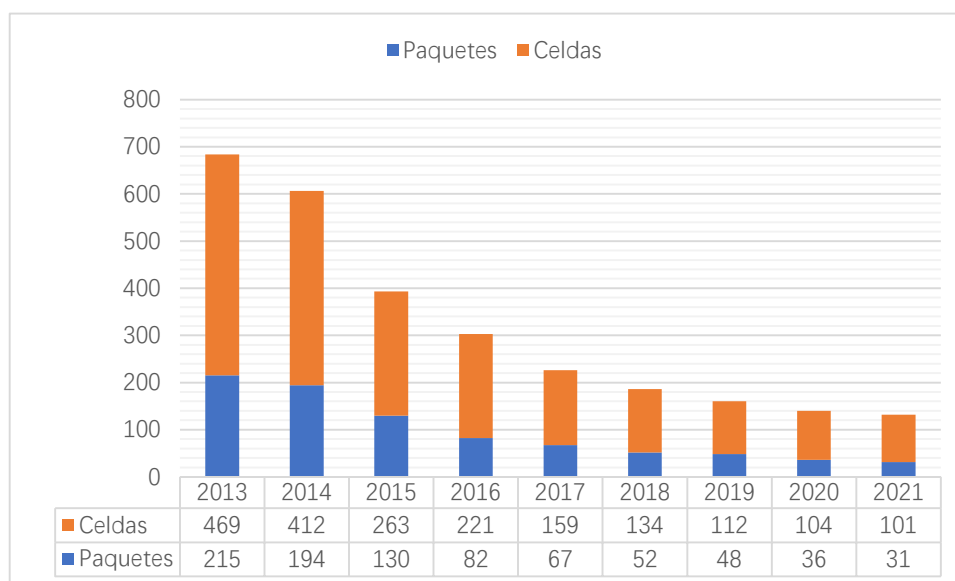


Fuente: Our World in Data.[79]

Dos son las razones fundamentales para explicar el aumento de vehículos eléctricos en 2020. En primer lugar, la epidemia. Debido a esta, varios países han aumentado considerablemente sus gastos financieros (la parte verde de la imagen). Es decir, la gran inversión de los gobiernos europeos es la principal razón para el desarrollo de vehículos eléctricos. En segundo lugar, el avance de la tecnología de baterías, ya que, cuando se trata de vehículos eléctricos, las baterías son un gran problema. Por un lado, el coste es alto. Si bien Tesla ha trabajado duro para resolver el problema de la duración de la batería, el problema del alto coste no ha sido resuelto. Pese a ello, desde el año pasado, gracias al descubrimiento de nuevos productos químicos (que aumentaron la química de cátodo de bajo costo del fosfato de hierro y litio y redujeron el uso del cobalto, un metal pesado en los cátodos a base de níquel), las baterías pueden funcionar de manera más eficiente, reduciendo así el coste de la batería. Debido a los altos subsidios del gobierno, el precio de la batería ha bajado.

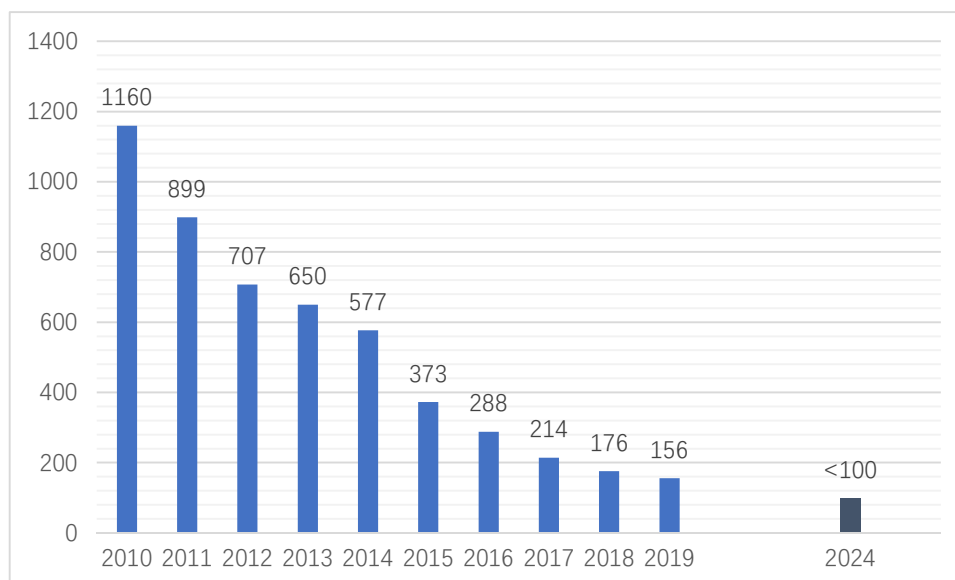
*Bloomberg New Energy Finance* ha publicado su informe de precios de baterías de 2021, que muestra el precio promedio por kWh para múltiples usos de baterías, incluidos vehículos eléctricos, autobuses y proyectos de almacenamiento estacionario. De \$140 por kWh en 2020 bajó a \$132 por kWh en 2021, lo que implica un 89 % menos que los \$1200 en 2010.

**Figura 23.** División de precio promedio ponderado por volumen de paquetes y celdas (2021 en dólares por kilovatio hora)/ Volume-weighted average pack and cell price split (real 2021 \$/kWh)



Fuente: BloombergNEF

**Figura 24.** Precio promedio ponderado por volumen de paquetes de baterías para vehículos eléctricos (\$ por kWh)



Fuente: BloombergNEF

Y de esta figura también se puede inferir que la caída de los precios de las baterías podría impulsar el avance de los vehículos eléctricos.

Si solo observamos el segmento de industria de vehículos eléctricos, cuando comparamos el precio de la batería del pasado año con el de hace diez años, corresponde a un décimo de lo que era entonces. Y es precisamente por el bajo coste que las empresas están dispuestas a realizar una comercialización a gran escala. Por lo tanto, el progreso tecnológico actual, la reducción de costes, el apoyo de políticas y la gran capacidad de mercado han conseguido que la industria de vehículos eléctricos se haya desarrollado con rapidez. La política de la UE intentará alcanzar un 15 % de vehículos de cero emisiones para el año 2025 y un 35 % de vehículos de cero emisiones para 2030.

Desde la perspectiva de la macroeconomía, el desarrollo de vehículos eléctricos puede reducir la dependencia de la energía del petróleo y diversificar los riesgos económicos. Al mismo tiempo, también puede estimular la demanda interna y promover el desarrollo económico, ya que la industria del automóvil es una industria civil con un precio unitario muy alto. Esto, aparte de estimular la demanda, también impulsa las industrias *upstream* y *downstream* y estimula el empleo, lo que equivale a promover el desarrollo de toda la economía. Además del apoyo gubernamental, empresas como Tesla, que se enfocan en el desarrollo de vehículos eléctricos, y los fabricantes de automóviles tradicionales como BMW, Mercedes-Benz y Volkswagen, también se han sumado a esta industria en crecimiento, y no solo eso, sino que la corporación de empresas de Internet y comercio electrónico como Apple, Alibaba, etc., ha infundido una gran inspiración y confianza en la industria de vehículos eléctricos. Debido a la electrificación de estos vehículos, habrá una transición hacia las redes y la inteligencia. En pocas palabras, el vehículo eléctrico se convertirá en el futuro en un terminal inteligente como un teléfono móvil. Todas las acciones, datos o comportamientos se reunirán ahí.

Este sector tiene un futuro muy prometedor. Sin embargo, durante este período también se debe prestar atención a posibles estafas, como el caso del fundador Trevor Milton de *Nikola Motor Company*, que quiere aprovechar esta tendencia creando falsas expectativas, como el famoso camión de batería de energía de hidrógeno.

Cabe señalar que uno de los problemas de los vehículos eléctricos es que el reciclaje industrial se desarrolla muy lento (batería).

### 1.2.3 Carbón: discutir sus principales contradicciones

**Bajo la situación actual de crisis, y también porque en algún país como Alemania se ha abandonado la energía nuclear, se está favoreciendo la energía del carbón; retrasando su retirada o, mejor dicho, ralentizando esta del escenario global.**

Durante el período de 2000 a 2019, Alemania logró grandes resultados en la transición energética, con una caída de la intensidad de las emisiones de carbono de 854,4 millones de toneladas a 683,8 millones de toneladas: una caída de casi el 20 %. Sin embargo, según datos de la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA), las emisiones de carbono de Alemania aumentaron en 33 millones de toneladas, hasta los 762 millones en 2021, un aumento interanual del 4,5 %. Los sectores industrial y energético siguen siendo los que más contribuyen

a las emisiones de carbono. Las emisiones del transporte también han aumentado significativamente, mientras que la agricultura y la construcción solo han experimentado disminuciones modestas. Asimismo, la crisis de los precios de la energía también está provocando un cambio del gas natural al carbón.

Los datos muestran que las emisiones de carbono de las centrales eléctricas aumentaron considerablemente en 2021, como también lo hizo el consumo de lignito en toda Alemania. La crisis de Ucrania podría conducir a una exacerbación a corto plazo de esta tendencia y aumentar aún más las emisiones de carbono. Es difícil ver un punto de inflexión en la reducción de carbono, y el alto nivel de emisiones también es el resultado de esfuerzos insuficientes de protección climática durante la última década. La expansión de la energía eólica y solar se ha tambaleado, hay muy poca modernización de eficiencia energética de edificios antiguos y muy poco progreso en la transición del transporte. Por supuesto, no se puede negar que parte de la razón del aumento del carbono y de la contaminación en el aire es la alta dependencia actual de Alemania con respecto al petróleo y al gas, además del carbón.

Se propone que la solución a la contaminación sea *Carbon Capture and Storage (CCS)*, una tecnología que recolecta el dióxido de carbono producido por fuentes de emisión como grandes centrales eléctricas, plantas siderúrgicas y plantas químicas, y lo almacena bajo tierra o bajo el mar de diversas formas para evitar que se libere a la atmósfera. La tecnología CCS incluye tres enlaces de captura, transporte y almacenamiento de dióxido de carbono que pueden reducir las emisiones de carbono por unidad de generación de energía en un 85 % o 90 %.

El 7 de mayo de 2012, se completó en Mongstad (Noruega), el proyecto de demostración/piloto de captura y almacenamiento de carbono más grande del mundo respaldado por la Unión Europea. El proyecto inició su construcción en 2007, con una inversión total de 1.000 millones de dólares estadounidenses y el apoyo financiero del gobierno noruego. La capacidad de diseño consiste en capturar 100 000 toneladas de CO<sub>2</sub> por año. En el contexto de la crisis de la deuda soberana europea y la austeridad fiscal, las instalaciones de CCS en otras partes de Europa se cerraron debido a la falta de fondos, y solo el proyecto de CCS en Noruega pudo operar con normalidad. En lo que respecta a las tecnologías de captura de carbono existentes, el coste máximo de capturar una tonelada de dióxido de carbono a £400 (\$642,4) es demasiado alto para la producción comercial a gran escala. Por lo tanto, reducir el coste es la dificultad técnica de este proyecto.

Además de esto, entre las soluciones se encuentran las naturales: los bosques. Sin embargo, albergan el problema de que compiten con la necesidad de tierra para cultivar alimentos. Según el informe resumido 2021 El estado de los recursos mundiales de tierra y agua para la alimentación y la agricultura. El sistema está llegando a sus límites. Informe. (*The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021: The System is on the Brink*) publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, el número de personas desnutridas alcanzará los 768 millones en 2020. Si bien el 98 % de los alimentos del mundo se produce en la tierra, actualmente hay poco espacio para expandir el área de tierra productiva. Además, el sistema de recursos de la tierra y el suelo acaba de llegar a su límite en 2021.

La alta contaminación y las altas emisiones han llevado la capacidad de producción al límite, causando una severa degradación de la tierra y de los servicios ambientales. Estos problemas de degradación de la tierra causados por el hombre afectan principalmente a la tierra cultivada. Mientras que la tierra cultivable representa solo el 13 % de la cobertura terrestre mundial de todos los tipos (11 477 millones de hectáreas), la tierra cultivable degradada representa el 29 % de toda la tierra degradada. Casi un tercio de las tierras de secano y casi la mitad de las tierras de regadío se ven afectadas por la degradación antropogénica de la tierra. Las áreas de pastizales y arbustos utilizadas para el pastoreo o como fuente de forraje se han reducido en 191 millones de hectáreas en las últimas dos décadas, dejando 3196 millones de hectáreas en 2019 y convertidas en tierra cultivable. El 13 % de los pastizales se degradaron debido a una mayor presión antrópica y el 34 % fueron destruidos por otras condiciones biofísicas debido a la compactación y erosión del suelo causada por el pastoreo excesivo y la movilidad insuficiente del ganado, lo que afectó más severamente a la función del suelo y el crecimiento de las plantas. Hoy, cuando la tierra y los alimentos son tan escasos, resolver la demanda competitiva de almacenamiento de carbono para la tierra también es una dificultad que debe resolverse en el desarrollo de la energía del carbón.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Referencia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El estado de los recursos mundiales de tierra y agua para la alimentación y la agricultura. El sistema está llegando a sus límites. Informe resumido 2021. <https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/cb7654zh.pdf>

## 2. Hacia las energías renovables.

### 2.1 Panorama general del actual estado del desarrollo energético mundial y evolución de las energías renovables

Con la continua convocatoria y promoción de varias organizaciones internacionales y conferencias sobre la energía mundial, los países de todo el mundo prestan cada vez más atención a la energía y al medio ambiente, por lo que la era actual podría denominarse "era energética mundial". La estructura actual del uso de la energía mundial todavía está dominada por las tres fuentes de energía tradicionales (petróleo, gas natural y carbón), que se complementan con energías limpias como la energía nuclear, la energía eólica, la energía solar y la energía de biomasa, y que desarrollan vigorosamente nuevas fuentes de energía. Entre ellas, la energía fósil todavía representaba el 83,1 %, el carbón el 27,2 %, el gas natural el 24,7 %, la energía hidroeléctrica el 6,9 %, la energía renovable el 5,7 % y la energía nuclear el 4,3 %.

Como el precio de la energía fósil es relativamente bajo, la tecnología para el desarrollo y la utilización es accesible, por lo que ha sido sistematizada y estandarizada. Aunque los países desarrollados se vieron afectados por las dos crisis del petróleo en la década de 1970 e intentaron por todos los medios deshacerse de su excesiva dependencia del petróleo, este seguirá siendo la fuente de energía más importante en los próximos 20 años; y la demanda mundial crecerá a una tasa media anual del 1,9 %. El carbón, por otro lado, sigue siendo el principal combustible para la producción de electricidad, creciendo la demanda mundial a una tasa anual del 1,5 %. La energía fósil continuó siendo la base energética inquebrantable para la supervivencia y el desarrollo humanos durante mucho tiempo.

Según el último informe de la Agencia Internacional de Energía, *BP World Energy Outlook 2020*, el desarrollo de la energía renovable ha mostrado más viabilidad en el contexto de la disminución de la demanda global de energía. Se espera que, desde 2020 hasta octubre de 2030, la demanda de energía renovable aumente en dos tercios, lo que representa aproximadamente el 80 % del crecimiento de la demanda mundial de energía.[70]

En el informe *World Energy Outlook 2020*, la Agencia Internacional de Energía predijo que la demanda mundial de energía no volverá por completo a los niveles anteriores a la epidemia hasta, al menos, 2023. Según el informe, debido a la epidemia COVID-19 y a otros factores, se espera que la demanda mundial de energía caiga un 5 % en 2020, de la cual la demanda de petróleo se reducirá un 8 % y el uso de carbón se reducirá un 7 % (la industria continúa creciendo y se espera que la energía renovable reemplace al carbón en 2025, convirtiéndose en el principal método de generación de energía). Para 2030, la energía renovable proporcionará casi el 40 % del suministro eléctrico mundial. [70] La *Revisión de las estadísticas energéticas mundiales*, publicada por British Petroleum, muestra que, si bien el consumo mundial de carbón continúa disminuyendo, la energía renovable mundial está creciendo a un ritmo récord, lo que representa más del 40 % del crecimiento de la energía primaria en 2019.[71]



El último informe publicado por Eurostat en noviembre de 2020 muestra que la producción total de energía renovable dentro de la UE en 2018 aumentó un 2,8 % interanual. En comparación con hace 10 años, la proporción de energía fósil en 2018 siguió disminuyendo, mientras que la proporción de energía renovable iba en aumento, con una tasa de crecimiento del 49,2 %.

El desarrollo y la utilización de nuevas energías han captado la atención. La investigación y el desarrollo de energías renovables, como la energía solar, la energía eólica, la energía geotérmica, la energía oceánica, la energía de la biomasa, etc., se están desarrollando rápidamente. En particular, Estados Unidos, Japón y China están desarrollando enérgicamente la tecnología de pilas de combustible de hidrógeno, y los prototipos de vehículos que utilizan pilas de combustible de hidrógeno ya están en camino. Para mediados de este siglo, se espera que la humanidad entre en la "era de la nueva energía" de la que se hablaba con anterioridad.[72]

En la actualidad, el 25 % de la energía en América Latina proviene de fuentes de energía renovables. En los últimos años, la generación de energía eólica y fotovoltaica ha aumentado significativamente.[73] Según datos de la Asociación Brasileña de Energía Solar, la capacidad instalada para la generación de energía solar en Brasil se ha multiplicado por cinco desde 2018. Al mismo tiempo, los últimos datos de la Asociación Brasileña de Energía Eólica muestran que la capacidad instalada de energía eólica del país se ha multiplicado por quince desde 2010.

Según datos de la Agencia Internacional de Energías Renovables, la energía eólica es actualmente el modelo de generación de energía renovable más popular en América Latina, con una inversión acumulada de 8,9 mil millones de dólares el año pasado, un aumento interanual del 87 %. La energía solar le siguió de cerca, con una inversión acumulada de \$8100 millones, un aumento interanual del 31 %.[74]

El desarrollo de la industria fotovoltaica en África también se está acelerando. Según el informe de investigación de mercado de *Bloomberg New Energy Finance* y Green Cape, la plataforma de arrendamiento solar sudafricana Sun Exchange predice que en el período de cinco años (de 2019 a 2024) el potencial de mercado del África subsahariana en el campo de la energía fotovoltaica industrial y comercial puede superar los 7000 millones de dólares estadounidenses.[75]

De cara al 2022, la demanda mundial de energía se enfrenta a muchos factores inciertos, como la tendencia epidémica del nuevo coronavirus, las medidas de control del virus y el propio tiempo de control, así como la velocidad de la recuperación económica después de que la pandemia cese. La demanda mundial de petróleo puede caer significativamente en 2022. El consumo de petróleo volverá al nivel de 2012 y la demanda de gas natural caerá más que en el primer trimestre; la demanda de electricidad puede caer ligeramente en un 5 %, la demanda de carbón en un 8 % y la demanda de energía nuclear aún más. La disminución de la demanda de energía hará que las emisiones globales de dióxido de carbono caigan un 8 %, volviendo al nivel de hace 10 años.

En general, aunque la epidemia ha tenido un gran impacto en el sistema energético, también brinda una gran oportunidad para que la industria energética acelere su cambio hacia un camino más sólido y sostenible. En las próximas décadas, el mundo formará un sistema energético sin precedentes. La política energética, la tecnología innovadora y la cooperación internacional son las claves del desarrollo energético global.

**Muchos países están aumentando el desarrollo de nuevas energías.** En la actualidad, cada vez más países están comenzando a prestar atención al desarrollo y la utilización de nuevas fuentes de energía y, en consecuencia, a introducir más políticas de apoyo industrial y planes de recuperación ecológica para acelerar la transformación de la estructura energética reduciendo las emisiones de carbono.

Corea del Sur anunció un plan de energía renovable a largo plazo a finales de 2020 para aumentar el desarrollo de la energía renovable. Según este plan, para el año 2034, todas las centrales eléctricas de carbón en Corea del Sur serán desmanteladas, y la proporción de energía renovable en la estructura energética de Corea del Sur aumentará, del actual 15,1 %, al 40 %.

El *Plan Nacional de Energía 2030*, anunciado por el gobierno francés, declaró que continuará aumentando la proporción de generación de energía renovable en su campo de suministro de energía, especialmente la proporción de energía eólica, para lograr la transición energética. Para 2030, la proporción de generación de energía renovable en el suministro eléctrico de Francia alcanzará el 40 %, de la cual se espera que la energía eólica represente el 20 %. Alemania planea aumentar la proporción de energía renovable del actual 18 % al 30 %. [76]

En julio de 2020, la Comisión Europea puso en marcha una estrategia de desarrollo integrado para el sistema energético de la UE. Al mismo tiempo, promueve el establecimiento de alianzas industriales en muchas áreas clave, como la energía limpia de hidrógeno y las baterías, y promueve también el desarrollo de campos relacionados, estimulando la inversión a través de la colaboración entre industrias. En el presupuesto (a largo plazo) del plan de recuperación de la "próxima generación de la Unión Europea", La UE exige que los Estados miembros utilicen, al menos, el 37 % de la inversión pública en áreas relacionadas con el cambio climático en ese proceso de promoción de la recuperación económica, y que relajen aún más las restricciones financieras de los Estados miembros sobre la inversión en proyectos de energía renovable.

El gobierno chileno lanzó oficialmente una estrategia de energía de hidrógeno verde en noviembre de 2020 para promover la transformación de la estructura energética. En diciembre del año anterior, el gobierno chileno anunció que aceleraría el ajuste de su estructura energética. La proporción de energía renovable en la energía total del país aumentará al 70 %, y todas las plantas de carbón se cerrarán por completo para el año 2040.

El gobierno brasileño, por otro lado, ha introducido de forma continua políticas y medidas para proporcionar financiamiento y apoyo a proyectos en infraestructura solar y otros relacionados con la industria. Para 2035, la inversión total de Brasil en la industria energética superará los 30 000 millones de dólares, de los cuales el 70 % se utilizará en tecnologías de energía

renovable como la solar fotovoltaica, la energía eólica, la energía de biomasa y la energía oceánica.

**Se pueden esperar perspectivas para el desarrollo futuro de la industria.** El Dr. Fatih Birol, director ejecutivo de la Agencia Internacional de Energía, dijo que, si los gobiernos e inversionistas de varios países pueden incrementar sus esfuerzos para desarrollar y utilizar energía limpia de acuerdo con el concepto de desarrollo sostenible establecido por la Agencia Internacional de Energía, esto responderá a problemas del cambio climático global. Se trata de un gran estímulo. La Agencia Internacional de la Energía hace un llamado a los gobiernos, las empresas energéticas, los inversores y el público a participar activamente en la optimización y transformación de la estructura energética.[77]

Nicholas Stern, ex economista jefe del Banco Mundial, comunicó que, desde una perspectiva global, la incertidumbre del suministro de energía fósil como el petróleo y el gas natural está aumentando. En contraste, las perspectivas de desarrollo de la industria de energías renovables son dignas de admirar. Según el análisis de Stern, dado que el cambio climático ha recibido una atención cada vez mayor, son cada vez más los países que están trabajando arduamente para reducir la contaminación causada por combustibles fósiles como el petróleo. Al mismo tiempo, a nivel mundial, el coste del desarrollo de la energía renovable está disminuyendo, lo que brinda una oportunidad para el crecimiento de la industria. A medio y largo plazo, la inversión en el desarrollo de la industria de las energías renovables recibirá cada vez más atención, por lo que se ha incluido en las estrategias de desarrollo de muchos países.

Ben Mike Williams, experto en energía del *Brugge Institute for Economic Research*, en Bélgica, cree que, si bien el gobierno está aumentando la inversión pública, también es muy importante poder atraer de manera efectiva la inversión del sector privado. Por un lado, los gobiernos de varios países pueden ajustar las expectativas del mercado a través de la orientación de políticas para permitir a los inversores prever las perspectivas de invertir en una economía baja en carbono. Por otro lado, es necesario acelerar aún más la integración del mercado interior de la energía, fortalecer la coordinación de las políticas internacionales y garantizar que los precios de la energía se mantengan dentro de un rango estable y razonable, a fin de atraer la atención de los inversores hacia la industria de la energía verde.

"Para lograr el desarrollo sostenible y los objetivos climáticos del Acuerdo de París, los Estados miembros deben esforzarse por aumentar la proporción de fuentes de energía renovable, garantizar el acceso a la electricidad universal y confiable y construir activamente un sistema energético inclusivo, resistente y con bajas emisiones de carbono". El secretario ejecutivo de la CESPAP de las Naciones Unidas, Ali Shahbana, apuntó estas palabras en la Conferencia Global Energy Internet (Asia) de 2020.

Esta conferencia propuso que es necesario acelerar el desarrollo de bases de energía limpia con buenas condiciones de recursos y excelentes beneficios económicos, y enviar electricidad a los centros consumidores de energía del continente, para así crear un patrón de desarrollo energético en el continente de "transmisión de energía de oeste a este, suministro de energía de

norte a sur, complementariedad de múltiples energías e interconexión regional". Sobre esta base, construiremos un canal de interconexión de energía entre Asia y Europa, África y Oceanía, y nos daremos cuenta del beneficio mutuo de la energía intercontinental.

Al estudiar el estado actual de las energías totales y la evolución de las energías renovables, en esta primera parte se define y predice cuales son las energías más potenciales hoy en día a través de un análisis de consumo de energía tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea.

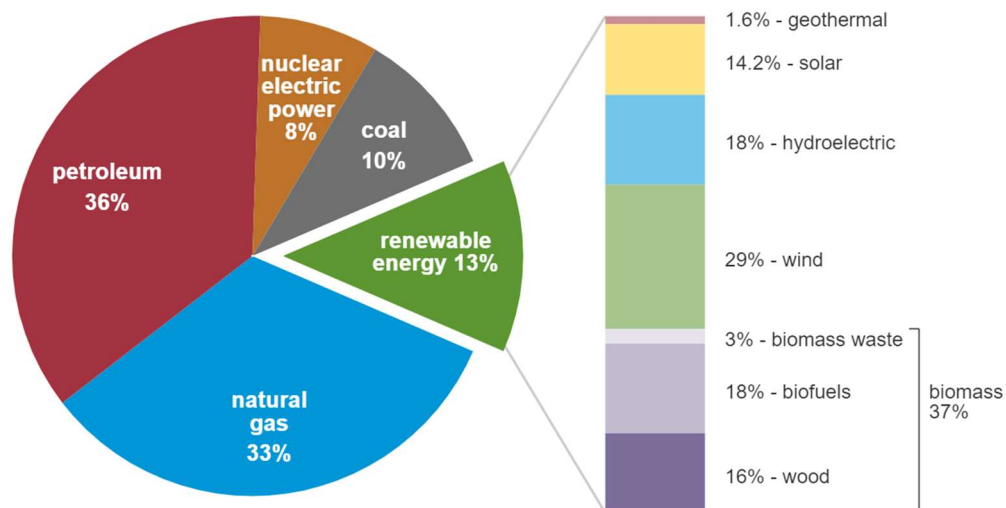
Con los datos citados de la EIA (*Energy Information Administration of US*), sobre el consumo de energía de Estados Unidos en 2022, se ve que los combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón siguen siendo el principal consumo energético, y las energías renovables solo representan el 13 % del total. [78]

**Figura 25.** Consumo de energía primaria de EE. UU. por fuente de energía, 2022

### U.S. primary energy consumption by energy source, 2022

total = 100.41 quadrillion  
British thermal units (Btu)

total = 13.18 quadrillion Btu



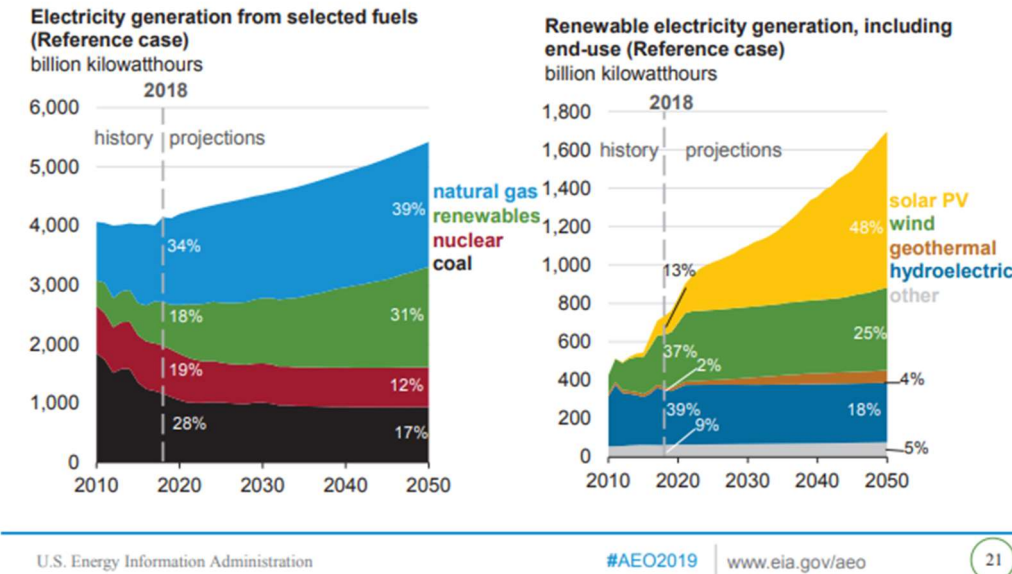
Data source: U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 1.3 and 10.1, April 2023, preliminary data  
 Note: Sum of components may not equal 100% because of independent rounding.

Fuente: EIA. U.S. Energy Information Administration

Sin embargo, la EIA nos vuelve a predecir que en Estados Unidos la generación de electricidad a través de energías renovables crecerá un 15 % del año 2018 al año 2050, un crecimiento ciertamente llamativo, del cual la generación de electricidad a través del gas natural crecerá un 5 %. En cuanto a la energía nuclear bajará un 7 %, y de carbón, bajará un 11 %. [78]

**Figura 26.** La generación de electricidad a partir de gas natural y energías renovables aumenta, y disminución de la proporción de generación nuclear y de carbón

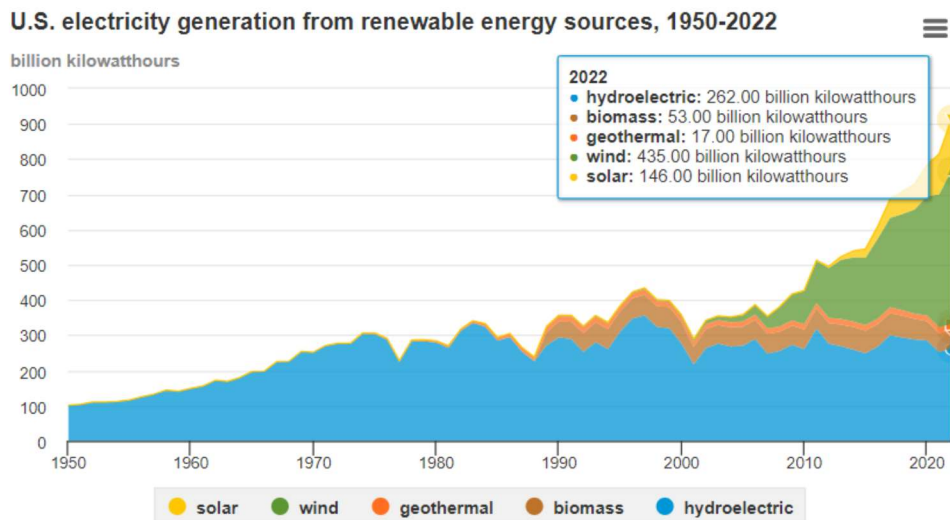
**Electricity generation from natural gas and renewables increases, and the shares of nuclear and coal generation decrease—**



Fuente: EIA. U.S. Energy Information Administration

De los datos 1950-2020 de EIA, se observa que las energías solares y eólicas son las energías renovables que tienen mayor crecimiento a la hora de generar energía eléctrica, mientras que las energías hidráulicas, biomásas y geotermales mantienen un crecimiento despreciable.

**Figura 27.** Generación de electricidad en Estados Unidos a partir de fuentes de energía renovables, 1950-2022



Data source: U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review* and *Electric Power Monthly*, February 2023, preliminary data for 2022

Note: Includes generation from power plants with at least 1 megawatt electric generation capacity. Hydroelectric is conventional hydropower.

Fuente: EIA. U.S. Energy Information Administration

Al mismo tiempo, dentro de las energías renovables que generan la electricidad, la energía solar contará con una alta participación (48 %) entre todas las energías renovables, y será la energía más dominante en el año 2050 según la prevención de EIA. A continuación, la energía eólica tendrá una cuota del 25 %, la hidroeléctrica un 18 % y la geotermal un 4 %. [78]

Después de estudiar la situación de las energías renovables estadounidenses, se estudiará la situación de las energías renovables en los países principales de Europa, para comprobar la evolución de las energías renovables en las dos principales unidades económicas y políticas del mundo. Para eso se han analizado econométricamente<sup>3</sup> los datos de 26 años (1990-2015) de 5 países europeos (Alemania, Reino Unido, Francia, Italia y España) a base de información de la EEA (*Source of European Environment Agency*). Se obtuvo el siguiente resultado, que coincide con la propuesta planteada: Alemania es el ejemplo que sacó el mejor resultado entre estos 5 países, y España está teniendo un aumento continuo con la popularización de las energías solares.

#### Alemania:

**Figura 28 y 29.** Estudio de la situación de desarrollo de las energías renovables en Alemania.

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value	
const	-0.984561	0.831844	-1.184	0.2498	
1_HydropowerThou~	0.237511	0.0850937	2.791	0.0109	**
1_WindpowerThous~	-0.0212156	0.0345430	-0.6142	0.5457	
1_SolarthermalTh~	0.0458010	0.0809383	0.5659	0.5775	
1_Biomassandrene~	0.941969	0.0624490	15.08	9.66e-013	***

Mean dependent var	9.463616	S.D. dependent var	0.712697
Sum squared resid	0.028590	S.E. of regression	0.036898
R-squared	0.997749	Adjusted R-squared	0.997320
F(4, 21)	2326.546	P-value(F)	1.82e-27
Log-likelihood	51.67381	Akaike criterion	-93.34763
Schwarz criterion	-87.05715	Hannan-Quinn	-91.53620
rho	0.667278	Durbin-Watson	0.794368

Log-likelihood for RenewableenergiesThousandton = -194.38

Excluding the constant, p-value was highest for variable 12 (1\_Solartherma

Imagen elaborada por la autora. Los datos provienen del EEA (*Source of European Environment Agency*)<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Programa econométrico Gretl.

<sup>4</sup> Fuente: EEA. <https://www.eea.europa.eu/en>

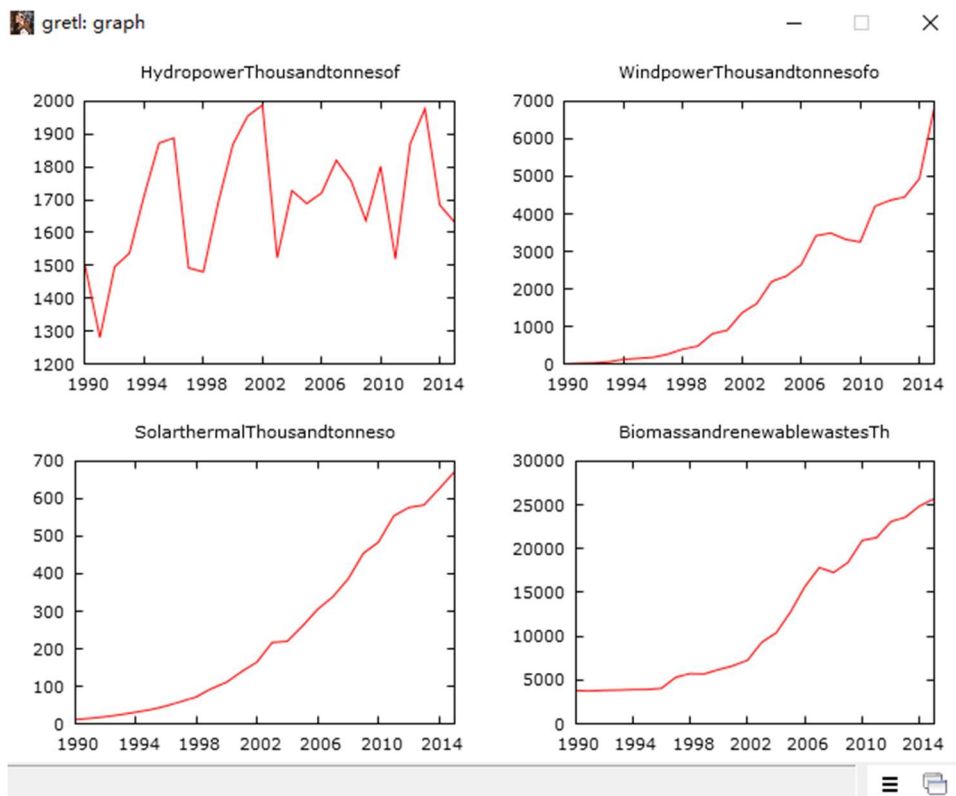


Imagen elaborada<sup>5</sup> por la autora. Los datos provienen del EEA<sup>6</sup>

España:

Figura 30. Estudio de las energías renovables en España.

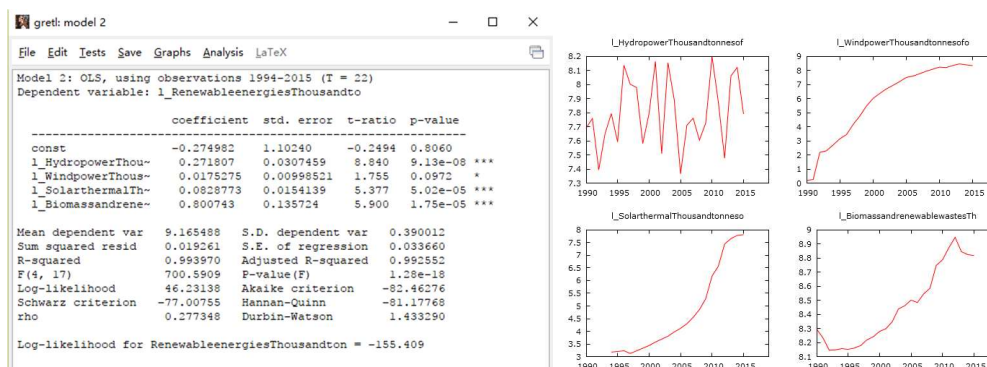


Imagen elaborada<sup>7</sup> por la autora. Los datos provienen del EEA<sup>8</sup>

<sup>5</sup> Programa econométrico Gretl.

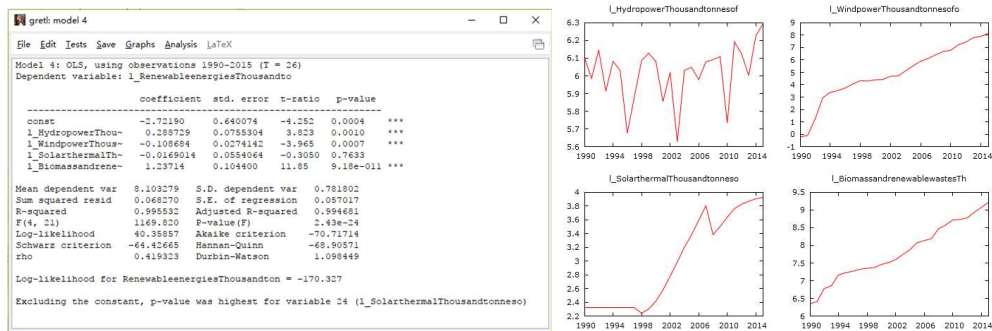
<sup>6</sup> Fuente: EEA. <https://www.eea.europa.eu/en>

<sup>7</sup> Programa econométrico Gretl.

<sup>8</sup> Fuente: EEA. <https://www.eea.europa.eu/en>

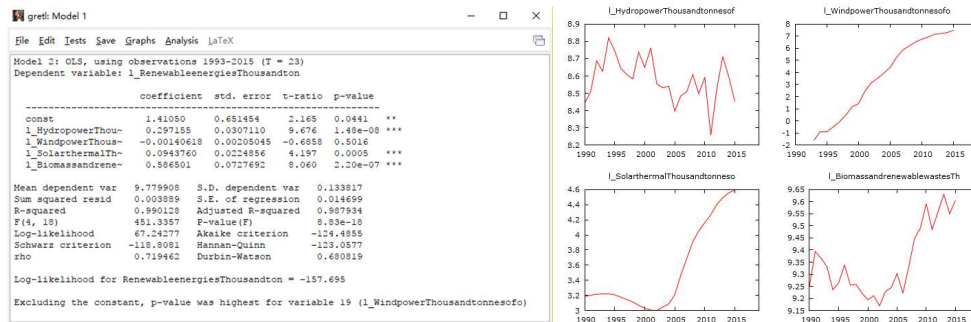
**UK:**

**Figura 31.** Estudio de las energías renovables en Reino Unido.



**Francia:**

**Figura 32.** Estudio de las energías renovables en Francia.



**Italia:**

**Figura 33.** Estudio de las energías renovables en Italia.

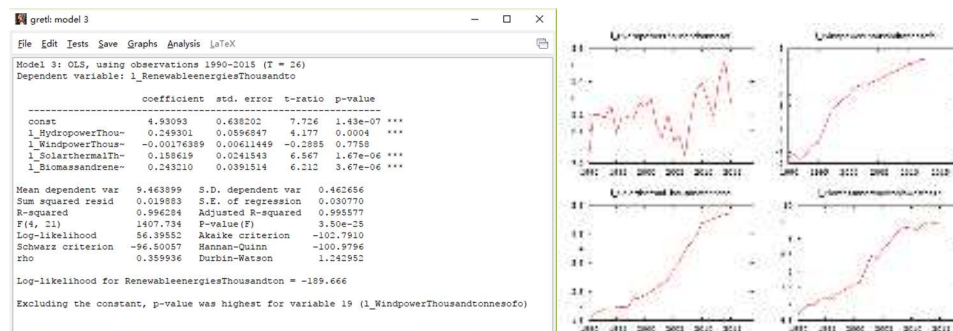


Imagen elaborada<sup>9</sup> por la autora. Los datos provienen del EEA<sup>10</sup>

Hablando concretamente de Alemania, la energía hidroeléctrica tiene carácter periódico, que puede depender de los cambios en los periodos de estaciones secas. Estos datos son inestables

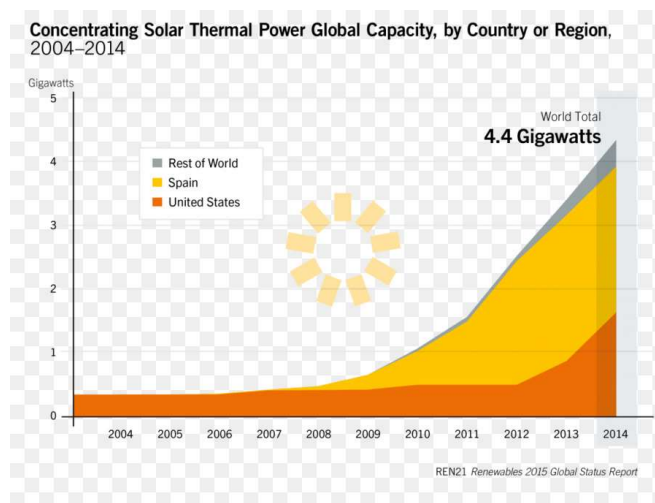
<sup>9</sup> Programa econométrico Gretl.

<sup>10</sup> Fuente: EEA. <https://www.eea.europa.eu/en>



y cíclicos, por lo que no entran en este estudio. En cuanto a la energía de biomasa, tiene numerosas tipologías que son demasiado complicadas de analizar y su tasa de rendimiento es alta (sobre todo en la etapa inicial), por lo que no se considera práctico y no se incluye en este estudio tampoco. Junto con la estandarización uniforme de los proyectos de inversión iniciales de energías solares y eólicas, el crecimiento potencial de estas dos energías, tanto en Estados Unidos, en España, como en todo el mundo, se observa que sus resultados son significativos. Por lo tanto se considera un tema importante estudiar estas dos fuentes de energía renovables destacados: solares y eólicas.

**Figura 34.** Evolución de la energía solar en EEUU y España.



Fuente: IRENA Y REN21. Renewables 2015 Global Status Report

## 2.2 Factores que influyen en el coste de instalación de PV de energía solar

Una vez sabidas cuáles son las energías renovables más significativas, el siguiente punto de enfoque es estudiar los factores que influyen en el coste total de la instalación de energía solar.

Para eso, en este apartado, se han construido unos modelos econométricos con la explicación sobre la capacidad de instalación de proyectos, el *learning rate*, el precio de la materia prima, el porcentaje de eficiencia o rendimiento de los paneles, la superficie y el promedio anual de radiación solar en paneles inclinados; factores imprescindibles para estudiar cómo se puede conseguir reducir el coste de instalación. Para eso, se basa en datos mundiales de 32 años de 1987 a 2018 extraídos de fuentes fiables como IRENA[81], World Bank [82], Our World in Data[83].

En primer lugar, se ha construido el modelo 1 con los datos originales, y nos resulta un R2 de un solo 35 %. Probamos después con la varianza de los datos y nos resulta un 89,9 % de R2 en el modelo 2, y para mejorarlo más, se ha creado el modelo 3 en series temporales, dando lugar a un 96 % de confianza. La variable es significativa con el p-valor y el valor de *durbin-watson* es correcto, pero tenemos el valor de Rho muy alto, es decir, este modelo tiene retardos. Para sacar estos retardos, se ha creado el modelo 4 con dos diferentes niveles de retardos y vemos

que hay algunos que nos sobran, por lo que iremos quitando uno por uno según la menor importancia que tengan. Llegamos así al modelo 7 con un 96,87 % de confianza y el R2 corregido es un 96,66 %, donde todas las variables explicativas son significativas; el p-valor del modelo es 7.84 e-24, que se aproxima a 0 y el valor de rho también muy pequeño. Por último, la gráfica sale casi perfecta, puesto que en el año 1990 puede haber una fractura. De este modo, se ha hecho el modelo 8 para averiguarlo, y con el *chow test*, podemos confirmar que en el año 1990 no hay fractura de datos. Así llegamos al modelo final mostrado en grande. Como consideramos que el precio de las materias primas de acero, silicio y hormigón son imprescindibles, se han añadido estos datos al modelo y se ha obtenido este resultado. Como conclusión, decimos que la capacidad de instalación de los paneles fotovoltaicos y el coste de instalación del año anterior afectan de manera negativa al coste de instalación del año presente, y que el precio de las materias primas como silicio y hormigón afectan positivamente a nuestra variable explicada.

**Figura 35 y 36.** Resultado del modelo econométrico para estudiar los factores del coste de instalación de paneles fotovoltaicos de la energía solar

Modelo 27

Archivo Editar Contrastes Guardar Gráficos Análisis LaTeX

Modelo 27:  
MCO, usando las observaciones 1987-2018 (T = 32)  
Variable dependiente: l\_SolarPVModuleCostperW

	Coefficiente	Desv. Típica	Estadístico t	valor p
const	0.963285	2.91076	0.3309	0.7432
l_Cumulativeca~_1	-0.590907	0.0909878	-6.494	5.81e-07 ***
l_JPPPISILICON~_1	-0.910351	0.287031	-3.172	0.0038 ***
l_SolarPVModul~_1	0.445582	0.0945989	4.710	6.64e-05 ***
l_USPPICONCRETEP~	1.83330	0.459892	3.986	0.0005 ***
Media de la vble. dep.	1.138196	D.T. de la vble. dep.	0.981899	
Suma de cuad. residuos	0.215147	D.T. de la regresión	0.089266	
R-cuadrado	0.992802	R-cuadrado corregido	0.991735	
F(4, 27)	930.9487	Valor p (de F)	1.70e-28	
Log-verosimilitud	34.62865	Criterio de Akaike	-59.25730	
Criterio de Schwarz	-51.92862	Crit. de Hannan-Quinn	-56.82805	
rho	0.279760	h de Durbin	1.873367	

Imagen elaborada<sup>11</sup> por la autora. Los datos provienen del IRENA

<sup>11</sup> Programa Gretl

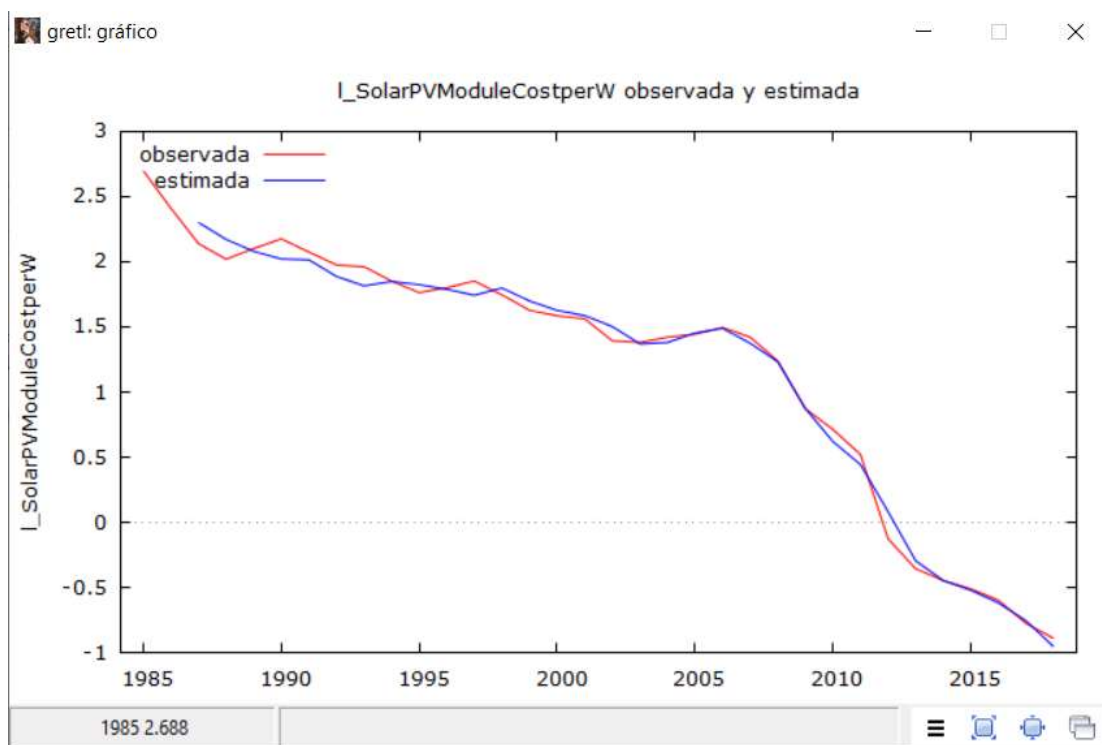


Imagen elaborada<sup>12</sup> por la autora. Los datos provienen del IRENA

### 2.3 Factores que influyen en el coste de instalación de turbinas de energía eólica

Al investigar el coste de instalación de la energía solar en el apartado anterior 2.1, falta analizar el de la energía eólica para completar el estudio de las dos energías renovables más significativas anteriormente mencionadas. Para ello, se ha construido unos modelos econométricos a base de datos de 34 años (1984-2017) con fuente IRENA[81], después de una serie de análisis, comparaciones y comprobaciones de modelos, se ha llegado al modelo 8 OLS mínimos cuadrado ordinario con retardos.

<sup>12</sup> Programa Gretl

**Figura 37 .** Resultado del modelo 8 para estudiar los factores del coste de instalación de turbinas eólicas.

M8\_L\_OLS: OLS, using observations 1984-2017 (T = 34)  
Dependent variable: 1\_Costes\_total\_2016USDKw

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value	
const	2.82897	1.01884	2.777	0.0092	***
1_Capacidad_de~_2	-0.0361509	0.0148222	-2.439	0.0207	**
1_Costes_total~_1	0.706947	0.101141	6.990	7.62e-08	***

Mean dependent var 7.725902 S.D. dependent var 0.324457  
Sum squared resid 0.108977 S.E. of regression 0.059291  
R-squared 0.968631 Adjusted R-squared 0.966607  
F(2, 31) 478.6134 P-value(F) 4.96e-24  
Log-likelihood 49.38676 Akaike criterion -92.77351  
Schwarz criterion -88.19443 Hannan-Quinn -91.21192  
rho -0.031573 Durbin's h -0.227964

Log-likelihood for Costes\_total\_2016USDKw = -213.294

Test for omission of variables -  
Null hypothesis: parameters are zero for the variables  
1\_Costes\_total\_2016USDKw\_1  
Test statistic:  $F(1, 31) = 48.8567$   
with p-value =  $P(F(1, 31) > 48.8567) = 7.61604e-008$

Chow test for structural break at observation 1990 -  
Null hypothesis: no structural break  
Test statistic:  $F(3, 28) = 0.986024$   
with p-value =  $P(F(3, 28) > 0.986024) = 0.413544$

Imagen elaborada<sup>13</sup> por la autora. Los datos provienen del IRENA

<sup>13</sup> Programa Gretl

**Figura 38.** Resultado del modelo 8 para estudiar los factores del coste de instalación de turbinas eólicas.

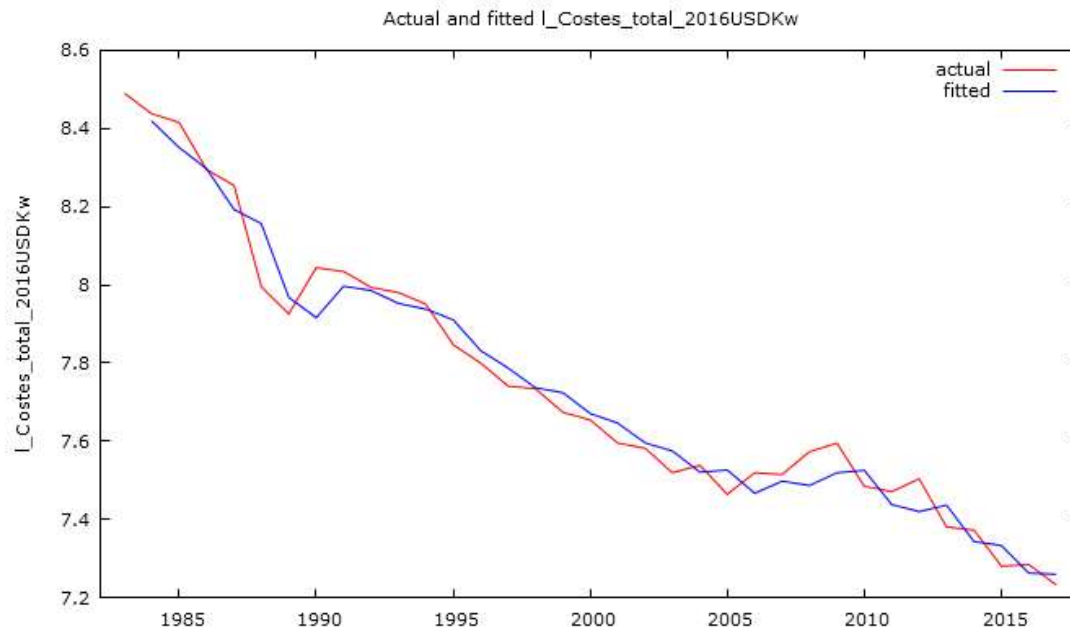


Imagen elaborada<sup>14</sup> por la autora. Los datos provienen del IRENA

Las variables de este modelo son necesariamente significativas según los valores estadísticos de test-T y P-valor. El valor de RHO está en general bien regularizado, aun así, queremos comparar el este modelo 8 con el modelo 7 ( Figura 39) con el sujeto de los cálculos econométricos.

La siguiente figura 40 llamado como " tabla de modelo " es la comparación entre los modelos, y consideramos que el modelo 8 es el mejor explicado dado que todas las variables son significativas y el  $R^2$  ajustado 0,966607 también está bien recomendado.

<sup>14</sup> Programa Gretl

**Figura 39.** Resultado del modelo 7 para estudiar los factores del coste de instalación de turbinas eólicas.

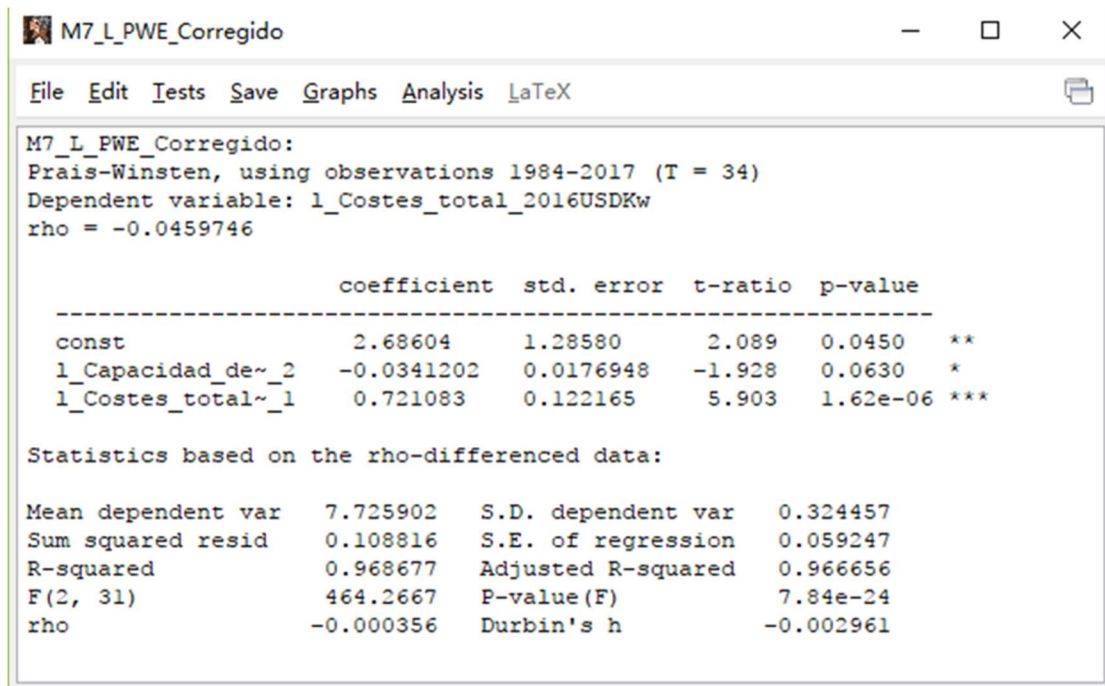


Imagen elaborada<sup>15</sup> por la autora. Los datos provienen del IRENA

<sup>15</sup> Programa Gretl

Figura 40. Comparación entre los modelos

gret!: model table

Dependent variable: l\_Costes\_total\_2016USDKw

	(1) OLS	(2) PWE	(3) PWE	(4) OLS
const	10.161552** (0.141349) [0.000000]	10.164174** (0.289944) [0.000000]	2.686044** (1.285798) [0.045009]	2.828965** (1.018837) [0.009233]
l_Capacidad_...	-0.144524** (0.008389) [0.000000]	-0.144283** (0.017209) [0.000000]		
l_Capacidad_...			-0.034120* (0.017695) [0.063025]	-0.036151** (0.014822) [0.020652]
l_Costes_tot...			0.721083** (0.122165) [0.000002]	0.706947** (0.101141) [0.000000]
n	35	35	34	34
Adj. R**2	0.896915	0.961946	0.966656	0.966607
lnL	28.4017			49.3868

Standard errors in parentheses  
p-values in brackets  
\* indicates significance at the 10 percent level  
\*\* indicates significance at the 5 percent level

Como conclusión, el modelo 8 OLS muestra que la capacidad de instalación de las turbinas eólicas de hace 2 años afecta de manera negativa al coste de instalación del año presente y el coste de instalación del año anterior afectan de manera positiva al coste de instalación del año presente.

### 3. Análisis crítico y desafíos del marco político europeo de energías renovables

#### 3.1 Introducción

Este capítulo se centra en la presentación y análisis del marco político para el desarrollo de energías renovables en Europa. Examina las políticas de la Unión Europea, las correspondientes implementadas por los Estados miembros, y compara sus resultados, resumiendo las experiencias y lecciones aprendidas. También se ofrecen recomendaciones para mejorar las políticas en España, con el fin de cumplir los objetivos de energías renovables de la UE y avanzar hacia la sostenibilidad y desarrollo sostenible.

#### 3.2 Marco de política de energías renovables en Europa.

El marco político de las energías renovables en Europa se ha desarrollado en base a una serie de objetivos y directrices establecidos por la Unión Europea, para promover el uso de fuentes de energía renovable y disminuir la dependencia de combustibles fósiles. El principal objetivo de la UE es alcanzar un 32% de energías renovables en el consumo energético final de la Unión Europea para el año 2030, como parte de su compromiso con la lucha contra el cambio climático y la transición hacia un sistema energético más sostenible.

Con el propósito de alcanzar dicho objetivo, la UE ha establecido un marco de políticas y medidas que incluyen: objetivos nacionales de energías renovables para cada Estado miembro; un sistema de certificados verdes para incentivar la producción de energía renovable; el establecimiento de una política de precios de carbono; y la promoción de tecnologías de energías renovables a través de programas de investigación y desarrollo.

Los Estados miembros han implementado estas políticas de manera dispar, enfrentándose a diversos desafíos en la consecución de los objetivos de energías renovables. No obstante, el análisis comparativo de estas políticas ha permitido identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas que pueden ser aprovechadas para mejorar y fortalecer el marco político de las energías renovables en Europa.

Este capítulo describe principalmente el proceso de desarrollo de leyes y políticas de la UE. Según el “Tratado de la UE”, cada miembro tiene el derecho de “decidir sus condiciones de desarrollo de energía, seleccionar diferentes fuentes de energía y determinar la estructura general de su suministro de energía”[66]. Esto significa que siempre que cumplan con el marco legislativo general de la UE, cada miembro puede establecer políticas específicas que se adapten a su situación nacional. En cuanto a la energía sostenible, cada miembro



puede elegir políticas de apoyo y niveles de apoyo financiero diferentes. Después de que Europa alcanzara en diciembre de 1997 el objetivo de establecer una estrategia conjunta en el Protocolo de Kyoto, aparecieron una serie de leyes que se centraron en el control de la reducción de gases de efecto invernadero y el aumento de la proporción de energías renovables. Para obtener más detalles, consulte la tabla 1 para un resumen específico.

**Tabla 1. Resumen de las regulaciones de energías renovables de la Unión Europea.**

Regulaciones	Fecha	Detalles
Directiva 2001/77 / EC: relativa a la promoción de la generación de energía renovable en el mercado interior de la electricidad.	Adoptado el 27 de septiembre de 2001; efectivo el 27 de octubre de 2001 (válido hasta el 31 de diciembre de 2011)	Incluyendo el objetivo indicativo del 22,1% de generación de energía renovable (RES-E) en 2010, así como el objetivo indicativo de cada país miembro.
Directiva 2003/30 / EC: relativa a la promoción del uso de biocombustibles u otros combustibles renovables en la industria del transporte	Adoptado el 8 de mayo de 2003; efectivo el 17 de mayo de 2003 (válido hasta el 31 de diciembre de 2011)	Incluida la meta del 5,75% de biocombustibles en los combustibles para el transporte en cada país miembro para 2010.
Directiva 2009/28 / EC: relativa a la promoción del uso de energías renovables	Adoptado el 23 de abril de 2009; efectivo el 25 de junio de 2009.	La versión actualizada de las Directivas 2001/77 y 2003/30. Se ha formulado un objetivo legalmente vinculante para que la proporción de energía renovable alcance al menos el 20% para 2020; también se ha formulado un objetivo jurídicamente vinculante para la proporción de generación de energía renovable y un objetivo obligatorio de biocombustibles para cada país miembro.
Directiva de revisión de energías renovables 2018/2001 / UE ("Directiva de energías renovables II")	Adoptado el 11 de diciembre de 2018; efectivo el 24 de diciembre de 2018	Se ha formulado para la UE un nuevo y vinculante objetivo de energía renovable para que la UE alcance al menos el 32% para 2030, incluidas disposiciones que pueden elevar y revisar el objetivo de la UE en 2023. Se requiere que los Estados miembros formulen sus propios planes de acción energética y climática para mostrar su contribución al logro de las metas y la implementación de políticas.

Este acuerdo se alinea con la estrategia energética y climática de la UE, donde la proporción de energía renovable en el consumo total de energía aumenta progresivamente año tras año.

**Tabla 2. Estrategia de la UE sobre energía y clima.**

Documento de estrategia	Fecha	Detalles
Paquete de Energía y Clima 2020	Fue adoptado por el Consejo de Energía en marzo de 2007 y aprobado formalmente por el Parlamento Europeo en diciembre de 2008.	Se han formulado el objetivo 2030 y el marco político de 2021 a 2030 dentro de la UE. Los principales objetivos para 2030 son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero (en comparación con 1990)</li> <li>• La energía renovable representa el 20%</li> <li>• Aumento del 20% en la eficiencia energética (en comparación con el desarrollo de escenarios convencionales)</li> <li>• Interconexión a red 10%</li> </ul>
Marco de Clima y Energía 2030	Aprobado en octubre de 2014	Establecer el objetivo a nivel de la UE para 2030 y un marco político de 2021 a 2030. Los principales objetivos para 2030 son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Al menos un 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (en comparación con 1990)</li> <li>• La energía renovable representa al menos el 32%</li> <li>• Mejorar la eficiencia energética en al menos un 32,5% (en comparación con el desarrollo de escenarios convencionales)</li> <li>• Interconexión a red 15%</li> </ul>
Estrategia a largo plazo para 2050	Aprobado el 28 de noviembre de 2018 como parte de la visión estratégica de "Una Tierra Limpia para Todos"	Se ha fijado el objetivo de lograr la neutralidad de carbono para 2050. Los objetivos para 2050 incluyen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del 80% al 95% de las emisiones de gases de efecto invernadero (en comparación con 1990)</li> <li>• Aumentar la participación de las energías renovables y mejorar la eficiencia energética.</li> </ul>
Pacto Verde Europeo	Propuesto el 11 de diciembre de 2019; Aprobado en 2020. Revisado en 2021	Confirma el ambicioso plan de la Comisión Europea para lograr la neutralidad climática en 2050, incluido un plan para descarbonizar el sector energético.

Además, existen el Decreto No. 2018/410 / EC sobre el Sistema de Comercio de Emisiones de la UE (" ETS de la unión europea"; la primera versión de la Directiva se aprobó en 2003), y el Decreto de Eficiencia Energética de Edificios 2018/844 / EU (" EPBD ") y la Ley de Eficiencia Energética 2018/2002 / EC (la primera versión de la directiva se emitió en 2012). La forma de la legislación de la UE ha creado la naturaleza de la Ley de Energía Sostenible. Cuando el Consejo de la Unión Europea y el Parlamento Europeo llegan a un acuerdo, se puede formar una orden legalmente vinculante, como la Ley de Energía Renovable de 2009. Por el contrario, no hay consenso. Por ejemplo, cuando se fija la meta 2030, no se puede alcanzar la meta legalmente vinculante para cada Estado miembro, por lo que solo se puede adoptar una solución de compromiso, es decir, fijar un acuerdo en el nivel de la UE en su conjunto. Un objetivo general vinculante, y cada país miembro establece sus propios objetivos en función del objetivo general. La ley estipula que cada país debe determinar los

objetivos nacionales en función de la fórmula de las recomendaciones de la UE, establecer una línea de fondo para la finalización de cada país y utilizar procedimientos de seguimiento para evitar que los Estados miembros realicen contribuciones insuficientes para lograr los objetivos vinculantes de la UE. En estos procedimientos, la Comisión Europea tiene derecho a hacer recomendaciones sobre los objetivos, políticas y medidas de los estados miembros. (Artículo 9 del Reglamento (UE) 2018/1999.)

La promoción de las energías renovables en Europa se fundamenta en diversos beneficios anticipados, que van desde un entorno más limpio hasta mejores condiciones de vida, fomentando la innovación industrial y generando más oportunidades laborales. Según datos estadísticos, el sector de energías renovables en Europa actualmente emplea 1,47 millones de personas a tiempo completo, con un volumen de negocios proyectado de 184.900 millones de euros (Barómetro anual del Observatorio Europeo, Edición 2022) [60]. Los datos también muestran que el crecimiento de las energías renovables, junto con la mejora de la interconexión y la integración del mercado interno de la electricidad, ha llevado a una constante disminución de los precios mayoristas de energía[61]. Sin embargo, los precios energéticos en la Unión Europea siguen siendo mucho más altos en comparación con la mayoría de los países y regiones del mundo. Los impuestos al consumo relativamente altos y los impuestos industriales no deducibles son las principales razones de los altos precios de la energía, y los cargos adicionales por energía renovable representan una parte significativa de los impuestos totales sobre el consumo de electricidad [62].

**Figura 41.** Precios de la electricidad para consumidores domésticos en Europa en 2022.  
(Unidad: Euro por kWh)

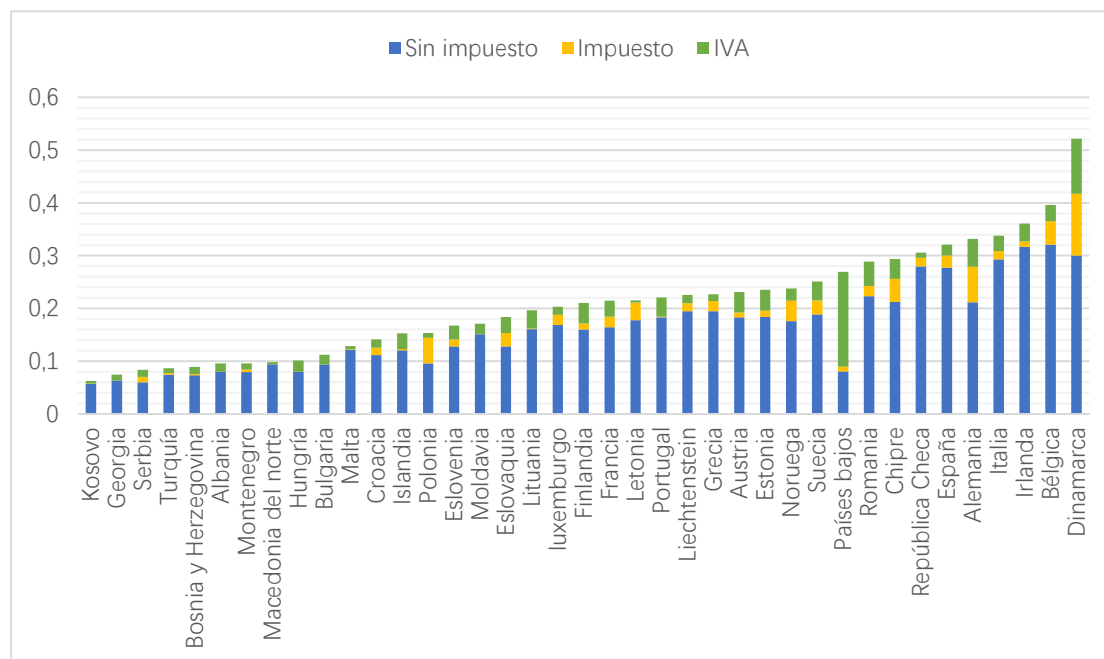


Imagen elaborada por la autora. Los datos provienen de la base de datos de Eurostat [62].

La Figura 41 destaca la significativa disparidad en los precios de la electricidad entre los

estados miembros de la UE y los países vecinos. Se observa que el precio promedio en los nuevos estados miembros de Europa Central y del Este es más bajo, mientras que en naciones con una alta proporción de energías renovables, como Dinamarca y Alemania, o aquellas que enfrentan desafíos en la seguridad del suministro energético, como Bélgica, Irlanda e Italia, el costo promedio de la electricidad es relativamente más alto.

**Figura 42.** Precios de la electricidad para consumidores domésticos en Europa en 2019. (Unidad: Euro por kWh)

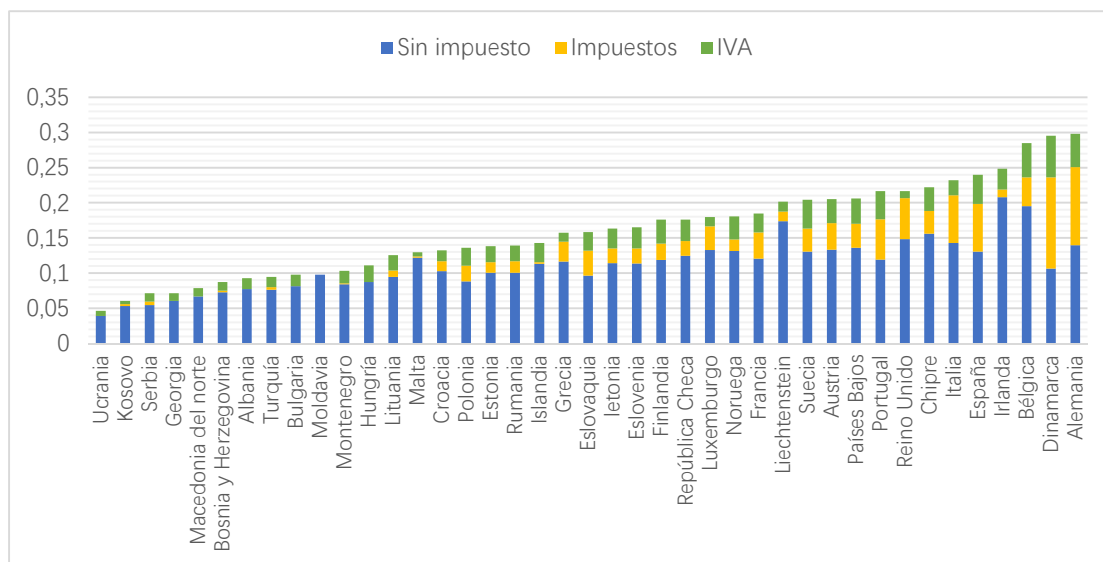


Imagen elaborada por la autora. Los datos provienen de la base de datos de Eurostat [62].

**Figura 43.** Comparación de precios de la electricidad para consumidores domésticos en Europa, 2019 y 2022. (Unidad: Euro por kWh)

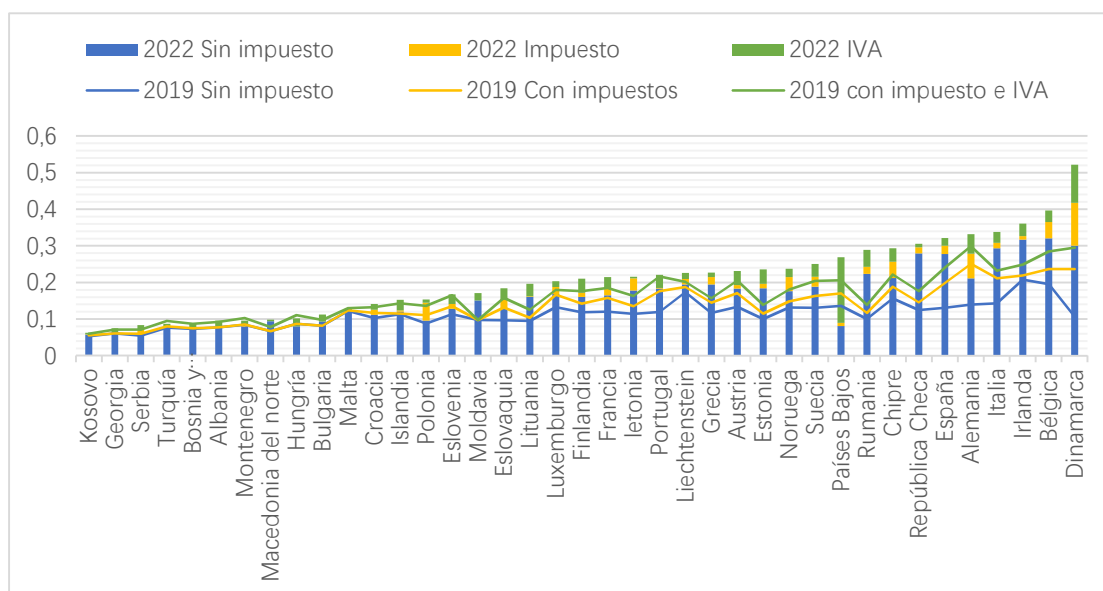


Imagen elaborada por la autora. Los datos provienen de la base de datos de Eurostat [62].

Tras comparar las variaciones en las tarifas eléctricas entre 2022 y 2019, la autora observa que

el crecimiento de las tarifas eléctricas se corresponde con los precios de la electricidad. Es decir, los países con tarifas eléctricas más elevadas experimentaron un mayor crecimiento en las mismas, como se indica en la Figura 43.

Uno de los desafíos fundamentales del rápido crecimiento de la energía renovable es armonizar dicho crecimiento con otros objetivos clave, como la seguridad y la asequibilidad del suministro de energía. La UE ha implementado diversas acciones para abordar estos problemas, entre las que se incluyen:

Eliminar los subsidios a los combustibles fósiles.

La supresión de subsidios a los combustibles fósiles elimina distorsiones del mercado, disminuyendo la brecha de costos entre la energía renovable y la fósil. Esto, a su vez, reduce la dependencia de respaldo financiero para las energías renovables, disminuyendo los impuestos indirectos y tarifas que los consumidores energéticos deben afrontar.

Mejorar la rentabilidad del apoyo financiero a las energías renovables.

Aunque los estados miembros tienen la libertad de seleccionar su política de respaldo a las energías renovables y diseñar herramientas de apoyo, es crucial que el mecanismo de respaldo sea rentable y cumpla con los requisitos de la UE. Esto ha conducido a diversas modificaciones en el diseño de las medidas políticas, las cuales se describirán en la sección 5 de este mismo capítulo.

1. Integración del mercado
2. Fortalecer la red y aumentar la interconectividad
3. Apoyar la eficiencia energética.

Mejorar la eficiencia energética disminuye la demanda global de energía, reduciendo así la demanda objetivo para la escala absoluta de despliegue de energía renovable. Además, el dinero que se ahorra al mejorar la eficiencia energética se puede utilizar para invertir en energía renovable. La combinación de políticas de eficiencia energética y energías renovables puede crear sinergias, como la electrificación de procesos que actualmente dependen de los combustibles fósiles.

Algunos países han experimentado un rápido aumento en la proporción de energía renovable gracias a la adopción de una serie de medidas positivas, mientras que otros deben tomar más acciones. Por ejemplo, la carencia de interconexión eléctrica en Polonia obstaculiza el crecimiento de su generación de energía renovable.

### 3.3 Política de apoyo a las energías renovables

Desde la adopción de la primera directiva que respalda las energías renovables en el mercado europeo, el desarrollo de mecanismos de apoyo ha fomentado aún más la inversión en energías renovables en toda la Unión Europea. Las políticas y medidas nacionales activas de algunos estados miembros han contribuido significativamente. Aunque los estados miembros disponen de diversas herramientas políticas para distintas situaciones, la Comisión Europea supervisa de cerca estas opciones para evitar

interrupciones en el comercio y la competencia en el mercado energético europeo. Con este propósito, la Comisión Europea ha emitido pautas para clarificar si lo observado es coherente con el tipo y nivel de apoyo proporcionado.

### 3.3.1 Mecanismo europeo de políticas de apoyo a las energías renovables

El mecanismo de apoyo a las energías renovables más utilizado en Europa incluye principalmente los cinco tipos siguientes:

- Tarifa de alimentación (FIT, Fit-in-Tariff)
- Subvención Premium (FIP, Fit-in-Premium)
- Contratos por Diferencia (CfD) o FIP decreciente
- Certificado verde (GC) con obligación de cuota
- Subvención de inversión

Además de estos cinco tipos más comunes, Europa también utiliza otras herramientas de apoyo, como garantías de préstamos, préstamos blandos, incentivos fiscales y medición neta, a veces combinados con importantes herramientas de apoyo. Además, se proporciona un pequeño soporte adicional a través de las llamadas herramientas de soporte técnico (por ejemplo, concursos de información). Desde 2005, la electricidad renovable también ha recibido apoyo indirecto del Sistema de Comercio de Emisiones de la UE, que aumenta el costo de la generación de energía con combustibles fósiles, reduciendo así la brecha entre la generación de energía con combustibles fósiles y la generación de energía con energía renovable.

Para cada tipo de mecanismo de apoyo, el nivel de apoyo se puede establecer mediante procedimientos administrativos o mediante procedimientos de licitación. Por ejemplo, en el programa de certificados verdes, las obligaciones de cuotas establecen el objetivo general, los certificados verdes (negociables) se emplean para supervisar el cumplimiento y promover el comercio, y el apoyo público también se puede organizar a través de procedimientos de licitación o procedimientos administrativos. Diferentes tipos de apoyo afectarán el comportamiento de los desarrolladores de proyectos de energía renovable en las fases de planificación y operación del proyecto y en el proceso de licitación. La Tabla 3 resume y compara estos mecanismos, revelando cómo los proveedores de electricidad renovable obtienen ingresos y describiendo la interacción con el mercado y el nivel de riesgo para proveedores y sociedad. En Europa, el proceso de licitación se ha convertido en un procedimiento prescrito para el despliegue de varios tipos de tecnologías y proyectos con cierta escala.

**Tabla 3. Resumen y comparación de la toma de decisiones de apoyo a la energía renovable de la UE**

Tipo de política	Proveedor de energía renovable	Interacción con el mercado	Nivel de riesgo del proveedor	Nivel de riesgo social	
Riesgo de gasto excesivo <sup>16</sup> *		Riesgo de sobrecompensación/compensación excesivo <sup>17*</sup>			
Tarifa de alimentación (FIT)	Precio de subsidio fijo por kWh	No	Bajo- Garantía de ingresos durante la vigencia del contrato	No. Porque el nivel de gasto es fijo	Alto- Porque el mercado no tiene nada que ver con el nivel de gasto
Subsidio Premium o a precio sobrevalorad (FIP)	Precio de mercado de la electricidad por kWh más el precio sobrevalorado fijo por kWh de energía renovable	Sí	Alto- Los proveedores se ven totalmente afectados por los cambios en los precios del mercado	No. Porque el nivel de gasto es fijo	Hay , Si el precio de mercado sube (y existe el riesgo de una compensación insuficiente cuando el precio de mercado baja).
Contrato por diferencia de precio (CfD) / FIP decreciente	Igual que el subsidio Premium FIP, pero la prima es variable y depende de la diferencia entre el precio del contrato y el precio de referencia de mercado de la electricidad. Cuando el precio de la electricidad de referencia supera el precio del contrato, se reembolsan los ingresos.	Sí	Depende del método de cálculo de la diferencia de precio: -Ciclo corto y tarifa de alimentación baja -Ciclo largo y alta tarifa de alimentación	Riesgo alto- Gasto excesivo cuando los precios del mercado caen	Ninguno, porque hay un tope de compensación total
Certificado verde (GC) con Obligación de cuota	Precio de la electricidad de mercado más precio de venta del certificado por kWh	Sí	Alto- Los proveedores se ven totalmente afectados por los cambios en los precios del mercado	Bajo- Pero los certificados verdes insuficientes pueden provocar aumentos de precios	RelativamenteBajo, pero puede existir en caso de certificados verdes insuficientes
Subvención a la inversión	Subvenciones a la inversión; Sin subsidio para el suministro de energía	Sí	Alto- Los proveedores se ven totalmente afectados por los cambios en los precios del mercado	Alto- Los inversores tienden a sobreestimar la capacidad	Ligeramente más alto (ver riesgo de gasto excesivo), pero más bajo que las tarifas fijas de alimentación y los subsidios Premium FIP.

<sup>16</sup> El riesgo de gasto excesivo se refiere al riesgo de que la sociedad pague demasiados fondos de apoyo para alcanzar la cantidad objetivo de energía renovable.

<sup>17</sup> El riesgo de sobrecompensación se refiere al riesgo de que la compensación total recibida por el desarrollador del proyecto de energía renovable sea demasiado alta en comparación con su costo de inversión más un beneficio de inversión razonable.

La calefacción y la refrigeración renovables suelen estar respaldadas principalmente por incentivos financieros (como subvenciones a la inversión), aunque algunos países también utilizan precios de alimentación y subvenciones premium para respaldar soluciones de calefacción renovables más consolidadas en el mercado, como la calefacción por combustión biomasa o calefacción geotérmica.

### 3.3.2 La evolución de los mecanismos de apoyo europeos

En Europa, la Cumbre de la Tierra de Río (1992) marcó otro hito en el apoyo político a las energías renovables, que se identificó como un factor clave para abordar el cambio climático. Sin embargo, los objetivos indicativos, los planes de promoción y la coordinación blanda no han llevado al uso masivo de energías renovables. Varios países europeos han decidido proporcionar apoyo operativo en forma de subvenciones públicas. La herramienta elegida en ese momento era la tarifa de alimentación (FIT) para alentar a las personas a usar energía renovable.

Después de la adopción de la Directiva RES-E (2001) y la Directiva sobre apoyo a las energías renovables en el sector del transporte (2003), se ha incrementado aún más el apoyo a las energías renovables. La mayoría de los países comenzaron a establecer tarifas de alimentación para tecnologías específicas, priorizando aquellas con mayor potencial y más fáciles de introducir en el mercado. Aunque el mecanismo de tarifa de alimentación (FIT) en un mercado inmaduro redujo el riesgo para los inversores, pero conlleva costos sociales y el riesgo de compensación excesiva (también conocida como ganancia accidental), porque el coste de la tecnología subsidiada puede bajar y el precio de mercado puede ser más bajo de lo esperado.

Unos años más tarde, con el aumento de la participación de la electricidad renovable y las fluctuaciones de precios superando las expectativas, creció el debate sobre la sobrecompensación. En respuesta, los gobiernos ajustaron el nivel de la tarifa de alimentación según los cambios del mercado. En 2003, la Corte de Justicia Europea dictaminó que los "servicios de interés económico general" no constituyen ayuda estatal, siempre que la tecnología que respalda la política tenga obligaciones de servicio público, la cantidad de apoyo financiero no sea muy alta y los procedimientos son transparentes. La Directiva sobre energías renovables entró en vigor en 2009, y la directiva incluye los objetivos vinculantes para la proporción de energía renovable que deben alcanzar los estados miembros para 2020. Esto enfatiza aún más la necesidad de implementar políticas de energía renovable y utilizar los presupuestos de manera inteligente en un entorno de mercado cambiante.

En respuesta a este desarrollo del mercado, la Comisión Europea ha publicado dos documentos importantes: las Directrices de diseño de políticas de apoyo a las energías renovables de 2013[63] y las Directrices de protección medioambiental y energía, publicadas en abril de 2014.[69] La orientación de 2013 incluía recomendaciones sobre la eliminación progresiva de las tarifas de alimentación fijas. Y centrarse en herramientas que permitan a los productores de energía renovable obtener señales de precios de mercado (como el estado de un precio sobrevalorado). Las directrices de 2014 van un paso más allá y establecen condiciones más estrictas para el mecanismo de apoyo a las energías renovables, como la exigencia de un nuevo apoyo por hasta diez años en forma de un Premium además del precio de mercado o mediante



un sistema de certificación basado en el mercado. Las directrices de 2014 también exigen que, a partir de 2017, las licitaciones competitivas tecnológicamente neutrales se conviertan en el principal mecanismo de apoyo a las energías renovables.

Las directrices sobre ayudas estatales han tenido un impacto significativo en la elección de los tipos de mecanismos de apoyo a las energías renovables en el mercado europeo. El primero es un cambio importante de una tarifa de alimentación fija a una FIP, que limita el riesgo de compensación excesiva al tiempo que mantiene un riesgo de precio bajo para los desarrolladores de proyectos de energía renovable. En los años siguientes, la tendencia de la licitación competitiva fue evidente y se implementó comúnmente en forma de subastas. La ventaja del sistema de subastas gubernamentales es la posible reducción del coste de apoyo de la energía renovable y, al mismo tiempo, puede controlar el gasto presupuestario o la cantidad de energía renovable en el mercado de acuerdo con la política específica seleccionada. En 2018, 15 de los 28 estados miembros de la UE implementaron un mecanismo de licitación competitiva, y otros 8 estados miembros están planeando o considerando su implementación.

### 3.3.3 Evolución del mecanismo de apoyo de los Estados miembros de la UE

En la Unión Europea, cada estado miembro puede elegir sus propias herramientas de apoyo político, siempre y cuando cumplan con los requisitos establecidos por la Comisión Europea. Debido a las diferentes condiciones climáticas y geográficas de varios países, la escala y la fuerza de la industria de las energías renovables varían de un país a otro, y debido a las diferentes preferencias sociales y políticas, cada país ha elegido un conjunto de herramientas de política que son adecuadas para él. La Figura 11 describe la elección de los mecanismos de apoyo para los 27 países de la UE, destacando que la mayoría de los países prefieren tarifas fijas de alimentación FIT y FIP sobre los certificados verdes y los subsidios a la inversión. Se observa también un aumento en el uso de subastas para implementar tarifas de alimentación FIT y subsidios a precios sobrevalorados FIP. Además, algunos países optan por utilizar diferentes herramientas de apoyo a las políticas para cada tecnología.

**Figura 44.** Resumen de las herramientas de apoyo a las políticas de energía renovable de la UE 27

Tecnología de energía renovable	Mecanismo de apoyo	Austria	Bélgica	Bulgaria	Croacia	Cipre	Chequia	Alemania	Dinamarca	Estonia	España	Finlandia	Francia	Grecia	Hungría	Irlanda	Italia	Lituania	Luxemburgo	Letonia	Malta	Países Bajos	Polonia	Portugal	Rumanía	Suecia	Eslovenia	Eslovaquia	
Paneles fotovoltaicos	FIT	X			X		X	X		X			X	X	X		X	X	X	X									
	FIP		X		X		X	X					X	X	X		X	X	X	X			X						
	Certificado energía renovable		X																				X			X			
Energía eólica terrestre	Incentivo para inversores	X									X																		
	FIT				X		X	X		X		X		X	X		X	X	X	X			X						
	FIP		X																										
Energía eólica marina	Certificado energía renovable							X	X							X										X			
	Incentivo para inversores																												
	FIT	X			X		X	X		X			X	X	X		X	X	X	X									
Energía biomasa	FIP		X		X		X	X		X		X		X	X		X	X	X	X			X						
	Certificado energía renovable		X																							X			
	Incentivo para inversores										X																		
Energía hidráulica	FIT	X			X		X	X		X			X	X	X		X	X	X	X									
	FIP		X		X		X	X					X	X	X		X	X	X	X			X						
	Certificado energía renovable		X								X														X				
Energía hidráulica	Incentivo para inversores	X									X																		

Fuente: datos de 2016-2017 de la CE, 2019, CEER, 2018

La visión general revela variaciones en la elección de herramientas de política entre países y puede diferir incluso dentro de un país, dependiendo de la tecnología. En el período 2016-2017, 16 países utilizaron tarifas de alimentación fijas (FIT) y 15 emplearon mecanismos de precios premium. El mecanismo de tarifa de alimentación fija FIT se utiliza principalmente para proyectos pequeños. Los sistemas de certificados verdes y las políticas de subsidio a la inversión son menos populares. Investigaciones posteriores (CEER, 2018) muestran que las políticas de apoyo han cambiado mucho entre los 5 y los 30 años. Como se muestra a continuación en la Tabla 4, el período de apoyo de cada país / región puede variar según el mecanismo y la tecnología.

Tabla 6 Duración del mecanismo de apoyo a las energías renovables en algunos países de la UE

**Tabla 4. Duración del mecanismo de apoyo a las energías renovables en algunos países de la UE**

País / Tipo de política	Duración (años)	País / Tipo de política	Duración (años)	País / Tipo de política	Duración (años)
Austria (FIP)	13-15	Alemania (FIT/FIP)	20	Malta (FIT/FIP)	6-20
Bélgica (TGC/FIP)	10-20	Grecia (FIT/FIP)	20-25	Países Bajos (FIP)	8-15
Bulgaria (FIP)	12-20	Hungría (FIT/FIP)	5-25	Polonia (FIP)	15
Croacia (FIT/FIP)	14	Irlanda (TGC)	15	Portugal (FIT)	15-25
República Checa (FIT/FIP)	20-30	Italia (FIT/FIP)	5-25	Rumania (TGC)	15
Estonia (FIT)	12	Letonia (FIT)	20	España (subvención)	20-30
Finlandia (FIT/FIP/subvención)	12	Lituania (FIT)	12	Suecia (TGC/subvención)	15
Francia (FIT / FIP)	20	Luxemburgo (FIT/FIP)	15		

Aunque Europa ha acumulado una experiencia a largo plazo en el uso de diversas herramientas de apoyo para aumentar activamente la proporción de electricidad renovable, el apoyo a la calefacción y refrigeración renovables está relativamente rezagado, pero estas áreas solo representan la mitad del consumo energético final de la UE. La Directiva sobre energías renovables de 2018 reconoce que la falta de una estrategia unificada a nivel de la UE, la internalización insuficiente de los

costes externos y la fragmentación de los mercados de calefacción y refrigeración son las principales razones del lento progreso en este campo. Hasta ahora, el apoyo a la calefacción y refrigeración renovables se ha centrado principalmente en la financiación de la investigación e innovación a través de fondos europeos. Además, Europa respalda la demostración de prácticas innovadoras y la integración de infraestructura sostenible de calefacción y refrigeración en las ciudades. En términos de apoyo no técnico, se enfoca en superar las barreras para la promoción de soluciones de calefacción y refrigeración con energías renovables, y brinda asistencia técnica para el desarrollo de proyectos de financiamiento, generalmente brindados por instituciones financieras.

### 3.3.4 El caso de Alemania

Muchos avances en el diseño y la implementación de políticas de apoyo a las energías renovables en Europa pueden ilustrarse con más detalle en el caso de Alemania. Alemania persigue un mecanismo de apoyo político coherente a largo plazo, que es un caso típico en Europa. El mecanismo FIT del país se introdujo en 1991 y ha sido una herramienta de apoyo líder hasta 2016. A pesar de la estabilidad del marco, Alemania ha experimentado muchos cambios en las opciones de diseño específicas de FIT y utiliza una variedad de herramientas para respaldar su industria de energía renovable. Los principales elementos del sistema de apoyo alemán durante mucho tiempo son:

-1991: Se promulgó la "Ley de tarifas reguladas", que fue el primer plan FIT del mundo.

-2000: Alemania introdujo la "Ley de energías renovables" (EEG). Este proyecto de ley cambia la estructura del precio de la electricidad a uno total fijo con un período de 20 años, proporcionando una mayor protección a los ingresos generales de los productores de energía renovable.

-2004: Se realizó una actualización del nivel de precios de la electricidad para adaptarse al desarrollo del mercado. Esto incluye fijar un precio de electricidad muy favorable para la energía de biomasa, estimulando así el desarrollo de proyectos de energía de biomasa en el mercado alemán y las exportaciones a otros mercados.

-2009: Se llevó a cabo una nueva actualización del nivel de precios de la electricidad y se introdujeron los primeros elementos de la transición de la tarifa de alimentación al mecanismo de subsidio a precio sobrevalorado.

-2012: En respuesta a la masiva reducción de costos en el mercado, se redujeron significativamente los precios de la electricidad para proyectos de generación de energía solar fotovoltaica, eólica terrestre y de biomasa. Además, EEG2012 también estableció regulaciones especiales sobre generación de energía geotérmica y energía eólica marina.

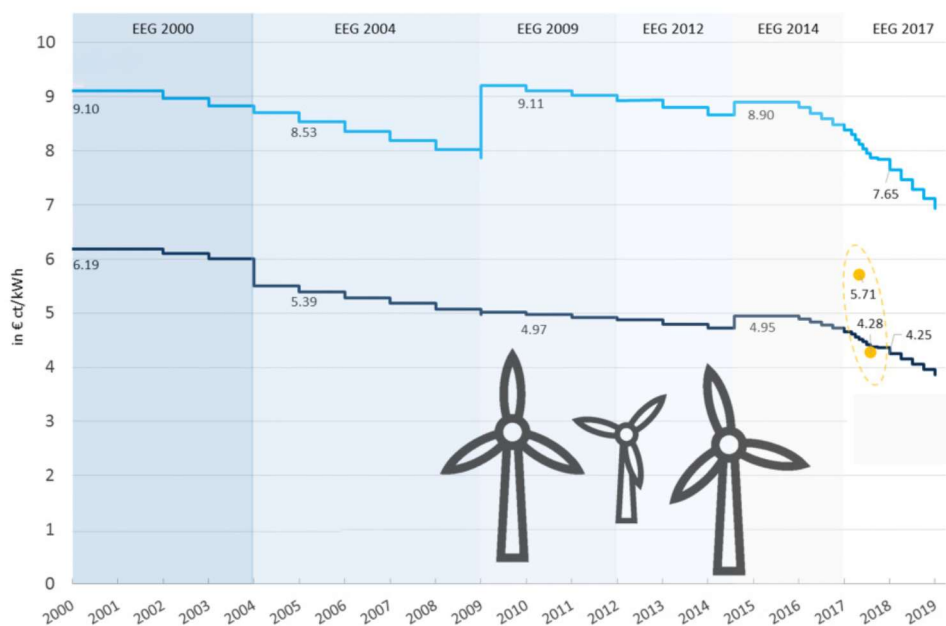
-2014: Se lanzó una subasta de piloto solar y se anunció el fin de FIT.

-2016: Se introdujo completamente el mecanismo de subasta como herramienta de soporte prioritario para todas las tecnologías.

La Figura 13 ilustra los cambios en el nivel de precios de la electricidad de la energía eólica terrestre en cada versión del EEG. La figura también muestra claramente que aunque el FIT alemán proporciona una garantía de apoyo de 20 años, distingue el nivel de apoyo durante el período inicial de operación (al menos cinco años) y el período restante de operación.

Como se muestra en la Figura 13, cada ronda de revisión de EEG tiene como objetivo ajustar el nivel de subsidio para garantizar que sea suficiente para reflejar la disminución de los costos. Por lo tanto, se restringe el exceso de compensación. Si el nivel del precio de la electricidad no es suficiente para generar nuevas inversiones, se ajustará al alza. Además del desarrollo de FIT, la herramienta principal, Alemania también ha implementado otras herramientas de políticas y regulaciones. Por ejemplo, durante 2000-2003, cuando la tarifa de alimentación era demasiado baja para impulsar el despegue del mercado solar fotovoltaico, los préstamos blandos proporcionaron un apoyo adicional. Cuando terminó la política y los precios de la electricidad aún eran insuficientes para un mayor crecimiento, Alemania promulgó una ley fotovoltaica temporal para aumentar los subsidios a los precios de la electricidad FIT. Luego de que este apoyo adicional hizo que la generación de energía fotovoltaica superara las expectativas, en 2010, 2011 y 2013, Alemania volvió a emitir leyes temporales para cambiarla, reduciendo el FIT de generación de energía solar fotovoltaica, y en algunos casos incluso de manera retrospectiva.

**Figura 45.** Niveles FIT de energía eólica terrestre alemana basados en diferentes versiones de la Ley de Energías Renovables (EEG) de 2000 a 2018



CC BY SA 4.0

Fuente: Clean Energy Wire, basado en datos de BNetzA 2017 y Windmonitor Fraunhofer IWES

Desde el año 2000, las tarifas reguladas en Alemania se han financiado mediante recargos impuestos a los usuarios de electricidad. Aunque los recargos por el consumo de electricidad en hogares son significativamente más altos, se ha mantenido un nivel relativamente bajo para

la electricidad industrial, preservando así su competitividad. A lo largo de los años, la tasa de recargo para los consumidores residenciales ha experimentado un aumento, pasando de 0,05 euros/kWh en el año de implementación del mecanismo a los actuales 6,88 euros/kWh, representando el 23% del costo total para el consumidor.

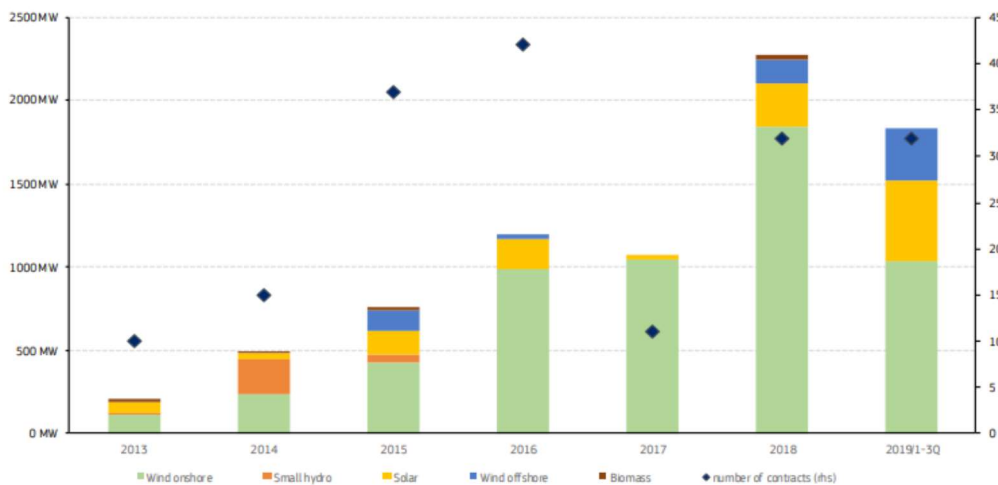
### 3.3.5 Extraer lecciones de casos seleccionados y muy resumidos

El apoyo a las energías renovables tanto de la Unión Europea como de España consiste en una serie de políticas de apoyo, que pueden variar para tipos de tecnología, países o provincias específicos y límites de tiempo específicos; y pueden enfrentar cambios adicionales en algunos aspectos. Incluyendo escala de capacidad, tipo de inversionista y condiciones locales específicas, etc. El análisis de todas las opciones de políticas puede generar cantidades excesivas de información, lo que no conduce a identificar las lecciones aprendidas. Por lo tanto, este informe proporciona un resumen de alto nivel durante un período de tiempo, así como un análisis detallado de la selección de mecanismos para un tiempo y tecnología específicos, con el fin de brindar sugerencias adecuadas sobre cómo responder a los cambios en diversas situaciones en formulación de políticas, y explicar la mejora de los medios de política. Cómo ayudar a un mejor diseño de políticas. Las lecciones aprendidas se pueden utilizar para formular futuros diseños de políticas. Una vez que se hace una elección preliminar sobre el diseño de políticas futuras, se puede comenzar un análisis más detallado, centrándose en opciones de diseño más específicas.

### 3.3.6 Adquisición corporativa de PPA de energía renovable

Un desarrollo relativamente nuevo es la adquisición corporativa de PPA de energía renovable. El PPA es una forma de acuerdo contractual que se utiliza a menudo en algunos mercados energéticos europeos para estipular las condiciones de venta de electricidad entre generadores y compradores. El PPA suele ser un acuerdo de compra de energía a largo plazo con un precio fijo, que proporciona una cierta cantidad de electricidad y precio para compradores y vendedores.

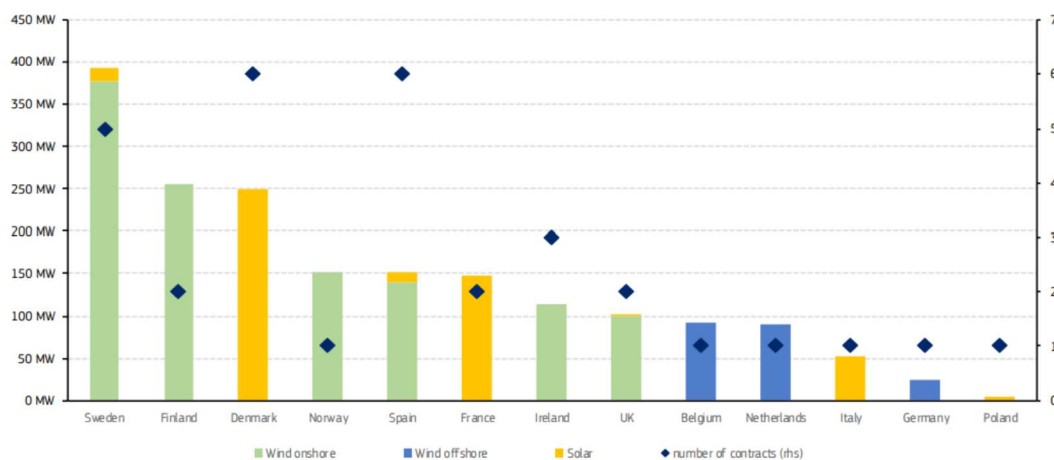
**Figura 46.** Cambios en el número y la capacidad de compras de PPA de energía renovable por parte de empresas europeas



Fuente: Clean Energy Wire, basado en datos de BNetzA 2017 y Windmonitor Fraunhofer IWES

El análisis de la Comisión Europea muestra que la adquisición de PPA de energía renovable corporativa está siendo adoptada por más países, pasando de solo 3 países en 2013 a 13 países en los primeros nueve meses de 2019. La Figura 15 muestra que el mercado actual todavía está muy concentrado en unos pocos países, con 4 de los 28 estados miembros de la UE que firman contratos que representan el 56%. Sin embargo, a medida que más proyectos alcanzan la paridad de red, el apoyo del mecanismo de apoyo público también se ha debilitado. Se espera que el volumen de adquisiciones de PPA y la expansión de las empresas crezcan con fuerza en los próximos años. Además, el cumplimiento de compromisos de sostenibilidad y la obligación legal de divulgar la proporción de energía renovable en el consumo energético están impulsando aún más la adquisición corporativa de PPA de energía renovable (CE, 2019).

Figura 15 Resumen del volumen de adquisiciones de PPA de las empresas en los estados miembros de la UE de enero a septiembre de 2019.



Fuente: CE, 2019, con datos de Bloomberg NEFF

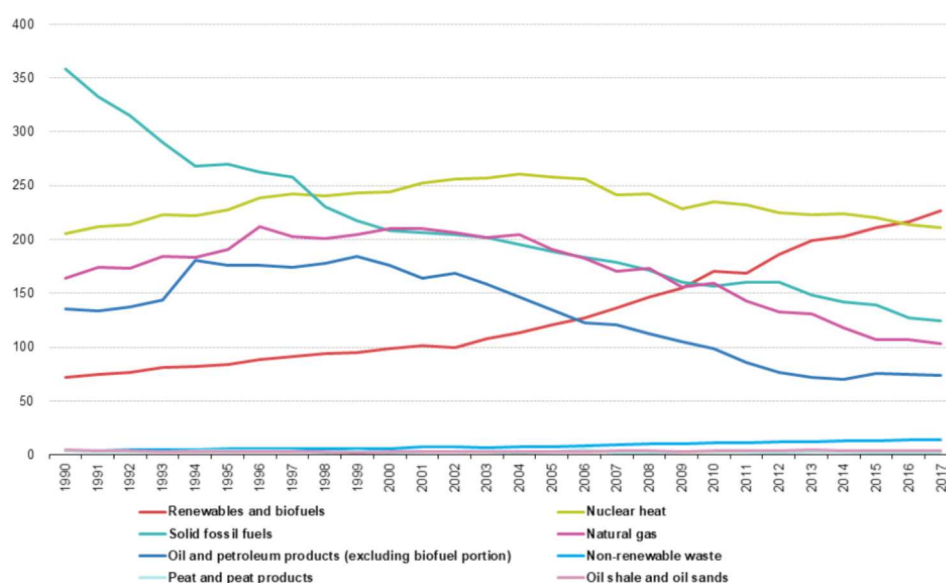
### 3.4 Principales desafíos, factores impulsores e impactos del apoyo a las energías renovables

#### 3.4.1 Perspectiva política y social

El establecimiento ambicioso de objetivos y el marco legal general de Europa han apoyado en gran medida el crecimiento de las energías renovables. Las diferencias en la determinación de los objetivos nacionales y la aceptación local (generalmente afectadas por las diferencias en el sistema energético existente y el potencial nacional de energía renovable) también han afectado en gran medida el ritmo de los estados miembros de la UE en la adopción de objetivos desafiantes y la intensidad de las políticas de estímulo. Esta variabilidad se evidencia en comparaciones como Dinamarca, que depende principalmente de combustibles fósiles importados, difiere de Polonia con una industria del carbón nacional desarrollada que muestra menos disposición hacia las energías renovables. Países como Austria, Alemania y Suecia que tienen un enorme potencial de energía renovable o que apoyan mucho el crecimiento verde son más proactivos que otros países en la implementación de políticas efectivas.

Como se muestra en la Figura 16, A pesar de los logros en la ambición europea de aumentar el suministro de energía y diversificar los combustibles, la dependencia de Europa de la energía importada aún alcanza aproximadamente el 55%, impulsada principalmente por la proporción significativa de petróleo crudo y gas natural importados. Se anticipa que un crecimiento adicional en el suministro de energía renovable reducirá considerablemente esta dependencia de importaciones de energía. El objetivo es elevar la participación del suministro de energía renovable actual del 18% a al menos el 32% en 2030 y al 75% para 2050. La transformación del sector de generación de energía se erige como un factor clave para alcanzar esta meta, apuntando a elevar la proporción de generación de energía renovable al 97% para 2050.

**Figura 47.** La producción de varios tipos de energía primaria en los 28 países de la UE entre 1990 y 2017.

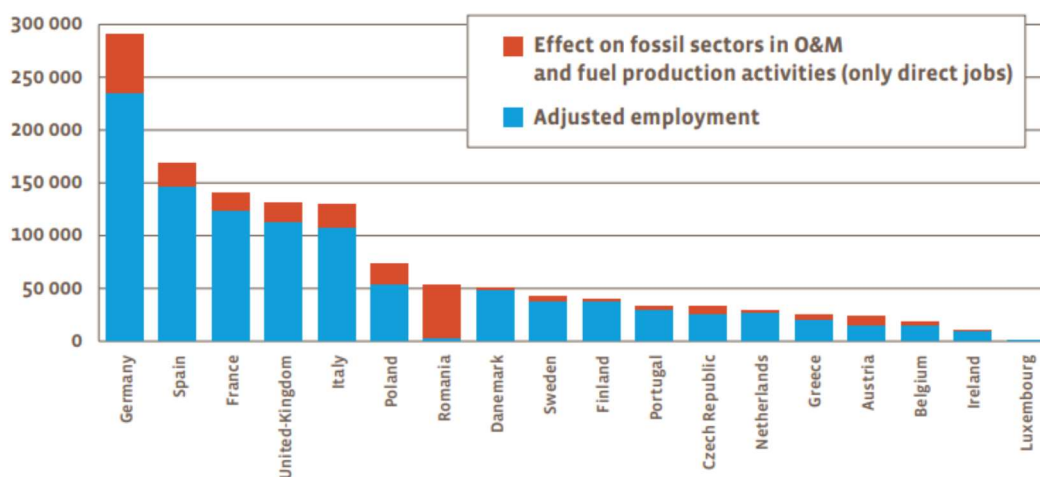


Fuente: Eurostat nrg\_bal\_c



El número de puestos de trabajo proporcionados por la industria de las energías renovables aumenta constantemente. La Figura 48 muestra la situación general del empleo de 18 países europeos en 2017, y el empleo neto o el ajuste del empleo después de tener en cuenta el empleo parcial de energía renovable en lugar de energía fósil.

**Figura 48.** Empleo en la industria de las energías renovables y las industrias de energías fósiles alternativas en 18 países europeos



Fuente: EurObserv'Er, 2018

Nota: Puestos donde las actividades de operación, mantenimiento y producción de combustible de la industria de la energía fósil se ven afectadas por las energías renovables. Excluye el empleo y el empleo directo relacionado con la inversión en energías renovables.

La evidencia muestra que el apoyo de la UE al establecimiento de objetivos de energía renovable constituye una fuerza impulsora importante y ha logrado resultados en la diversificación del empleo y la creación de nuevas oportunidades laborales.

### 3.4.2 Perspectiva técnica

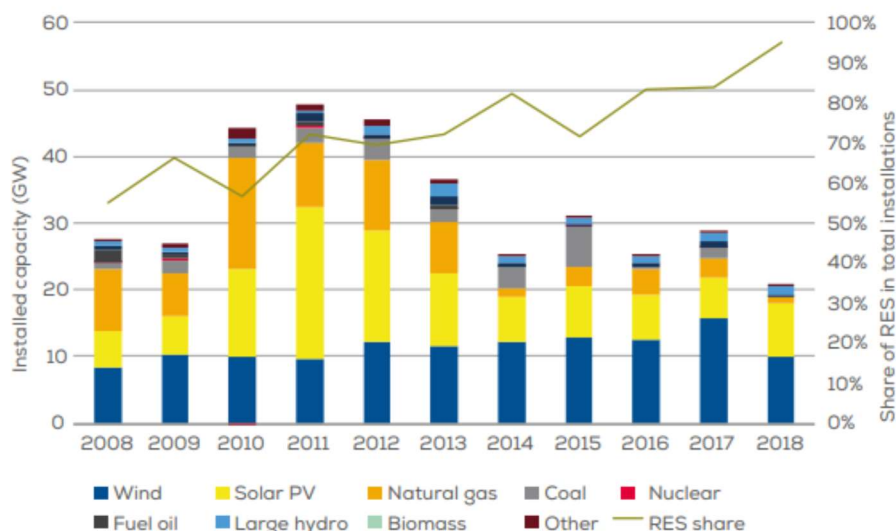
Desde el punto de vista técnico, el principal impulso de la política de respaldo a las energías renovables radica en apoyar la innovación tecnológica y disminuir los costos asociados con dicha tecnología, con la meta última de lograr su competitividad sin depender de subsidios públicos.

### 3.4.3 Perspectiva del mercado

Desde una perspectiva de mercado, la principal fuerza impulsora de la política de apoyo a las energías renovables es que se puede utilizar para fortalecer el mercado energético existente y brindar nuevas oportunidades para los operadores del mercado y los inversores. Los datos indican un aumento constante en la proporción de inversión anual total en energía destinada a

energías renovables, pasando de poco más del 30% en 2008 a casi el 100% en 2018.

**Figura 49.** Nueva capacidad de generación de energía instalada anual de Europa 2008-2018 y la proporción de energía renovable en la inversión en nueva capacidad.



Fuente: Platts, SolarPower Europe, WindEurope

#### 3.4.4 Perspectiva del consumidor

A largo plazo, las energías renovables aportan mucho valor añadido a los consumidores. Estos valores incluyen:

- La energía renovable proporciona un método de producción de energía limpia, que tiene un impacto positivo en la salud del público;
- Suministrar energía a un menor costo marginal, lo que reduce las facturas de energía;
- En comparación con la energía de combustibles fósiles, la producción de energía renovable es más intensiva en mano de obra y, por lo tanto, brinda más oportunidades de empleo;
- Ofrecer opciones diversificadas para inversionistas y desarrolladores de proyectos, creando un mercado energético más variado.
- La energía renovable brinda a los consumidores oportunidades para producir y vender electricidad, es especialmente valioso para aquellos que buscan la autosuficiencia energética y la seguridad en el suministro.

#### 3.4.5 Los principales desafíos a los que se enfrenta el desarrollo de la energía renovable en el futuro y el apoyo político relacionado

1. El primer objetivo es incrementar continuamente la proporción de energía renovable en el sistema energético. Esto implica integrar la energía renovable en los sistemas de red de combustible, calefacción y electricidad. Los productos de energía renovable se conectarán principalmente a estas redes y participarán en los mercados de electricidad y calor. Este enfoque busca mejorar la eficiencia y rentabilidad del sistema energético mediante la optimización,

evitando la necesidad de aumentar significativamente la inversión en infraestructura correspondiente. (ver otro informe).

2. En segundo lugar, desde la perspectiva de las tendencias, se prevé que las políticas de precios directos o subsidios no constituyan la vía principal para respaldar el desarrollo de las energías renovables en el futuro. En ausencia o reducción de subsidios, será crucial analizar otras medidas políticas destinadas a fomentar y mantener el desarrollo sostenible y saludable de las energías renovables.

3. El tercer objetivo consiste en asegurar una transición razonable y equitativa de la energía fósil a la energía renovable, al mismo tiempo que se equilibra la relación entre el desarrollo de las energías renovables y la seguridad energética.

Ahora, procederé a analizar los problemas y obstáculos que se deben superar en el reciente desarrollo de las energías renovables en España.

El concepto de consumo prioritario y desarrollo sostenible de las energías renovables aún no están firmemente establecidos ni mejorados. Los gobiernos locales, las empresas energéticas y las personas aún no han considerado la limpieza y las bajas emisiones de carbono como criterio básico en el consumo final de energía. La dependencia significativa del carbón junto con la aceptación de la combustión de carbón a granel contaminante y de baja eficiencia, prevalece.

El concepto de consumo de energía limpia como las energías renovables aún no ha alcanzado en un consenso general de la sociedad.

En los últimos años, las controversias sobre la energía renovable a gran escala y la seguridad energética han aumentado. La industria de la energía del carbón ha abogado por renovar el desarrollo de la energía del carbón. Sin embargo, la energía renovable al ser energía local, pueden contribuir a reducir el consumo de carbón. El gas y el combustible de energía renovable ayudarán a reducir el grado de dependencia del petróleo y el gas.

Desde la perspectiva del suministro de energía, el desarrollo de las energías renovables no solo puede ayudar a garantizar la seguridad energética, sino que también conlleva beneficios adicionales. Por lo tanto, es imperativo cambiar el posicionamiento, desarrollo y operación de la energía fósil, al tiempo que se mejora la conciencia y el concepto de desarrollo sostenible de las energías renovables en toda la sociedad.

- Es fundamental mejorar la capacidad de la infraestructura energética para respaldar una mayor proporción de energía renovable. Actualmente, se enfrenta a desafíos como la insuficiente capacidad de transmisión de energía entre regiones y eslabones débiles en la red de distribución del sistema eléctrico. La falta de inteligencia en la red dificulta satisfacer la creciente demanda de conexión a la red y el funcionamiento de la generación de energía distribuida. En particular, la red eléctrica suburbana enfrenta dificultades para cumplir con las necesidades operativas de instalaciones de calefacción eléctrica. Para abordar estos problemas, es esencial mejorar la capacidad de interacción flexible entre el lado de la oferta y el lado de la demanda en la red eléctrica. Esto permitirá un ajuste más efectivo del modo de operación y contribuirá a superar

las limitaciones actuales en la transición hacia una mayor proporción de energía renovable.

- Es imperativo realizar una reforma urgente en los sistemas y mecanismos energéticos para adaptarse al desarrollo sostenible de las energías renovables. En algunas áreas, la falta de entusiasmo por el consumo de energías renovables y problemas de proteccionismo local obstaculizan su avance. La intervención inadecuada de los gobiernos locales en el mercado eléctrico complica aún más los desafíos relacionados con el agua, el viento y la energía solar. En estas circunstancias, la obtención de calefacción con energía renovable en áreas operativas se vuelve difícil. Las empresas de calefacción a base de carbón enfrentan fuertes críticas, y los biocombustibles, especialmente el biodiésel, se encuentran con numerosos obstáculos para ingresar al mercado. Se requieren reformas integrales para superar estas barreras y fomentar un ambiente más propicio para el desarrollo sostenible de las energías renovables.

- En ausencia de subsidios o con subsidios reducidos, se carece de medidas de política adicionales para mejorar la economía de las energías renovables y su competitividad en el mercado energético. En primer lugar, el sistema actual de precios e impuestos de la energía no refleja completamente los costos externos del carbón y otros daños ambientales asociados a la energía fósil. El mecanismo de fijación de precios para transmisión y distribución, tarifas de red, gasoductos, etc., no ha sido corregido, y los precios escalonados y de tiempo compartido no se han implementado. Este enfoque no favorece la promoción de energía renovable en el lugar y sus alrededores. La calefacción con energía renovable se ve notablemente limitada por su alto costo. Además, la ausencia de un impuesto a la energía y un mecanismo de impuesto al carbono no incentiva el consumo de energía renovable ni restringe el consumo de energía fósil con alto contenido de carbono. El sistema fiscal actual está impulsando la producción y el consumo de energía renovable y otras fuentes limpias, pero con una orientación y regulación limitadas. En segundo lugar, la aplicación inadecuada de las políticas ha generado costos artificialmente elevados para la energía renovable. Por ejemplo, las tecnologías de generación de energía eólica y fotovoltaica han avanzado rápidamente, pero las reducciones de costos se han visto afectadas por políticas inapropiadas. Algunos gobiernos locales han cobrado indebidamente impuestos sobre el uso de tierras urbanas, ocupación de tierras cultivadas y forestales, así como impuestos sobre pastizales y tarifas de compensación. Incluso algunos lugares han aplicado tarifas de transferencia de recursos o han distribuido los gastos de bienestar público a las empresas de manera arbitraria. La energía hidroeléctrica, a pesar de asumir funciones integrales como el control de inundaciones, suministro de agua, riego y envío, ve cómo los costos de desarrollo recaen únicamente en las empresas hidroeléctricas, generando importantes costos sociales. Las empresas de redes eléctricas locales suelen transferir la responsabilidad de conectar a la red y los proyectos de apoyo que deben ser invertidos y construidos por ellas, según la ley, a proyectos de energía renovable. Desde una perspectiva financiera, las empresas privadas españolas enfrentan dificultades para obtener préstamos, ya que las instituciones financieras aplican tasas de interés elevadas. Algunos bancos otorgan préstamos para proyectos de energía renovable a tasas superiores a la tasa de interés base, considerablemente más alta que la del mercado financiero internacional.

- La falta de políticas sistemáticas y de largo plazo para aplicaciones no eléctricas de energías

renovables es evidente. El desarrollo desequilibrado de categorías de productos terminales de energía renovable resalta la rezaga en aplicaciones no eléctricas respecto a los proyectos de generación de energía. Además, la velocidad de desarrollo en la utilización de energía solar térmica, energía geotérmica y combustibles de biomasa es insuficiente. La carencia de medios y fuerza de apoyo a la política para aplicaciones no eléctricas de energía renovable es un obstáculo. La inexistencia de una política sistemática y a largo plazo agrava la situación. Energías renovables como geotermia, biomasa y energía solar, así como productos como calor, biogás y biodiésel, carecen de políticas específicas de respaldo. Además, las restricciones por operaciones de franquicia dificultan su ingreso al mercado de manera equitativa.

### 3.4.6 Experiencias para el desarrollo futuro

En diciembre de 2019, la Unión Europea lanzó el Acuerdo Verde, una estrategia de crecimiento para 2050. Su objetivo es lograr una disociación total del crecimiento económico del uso de recursos naturales y alcanzar emisiones netas cero de gases de efecto invernadero. El Acuerdo establece que la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 se elevará al menos al 50%, acercándose al 55% en comparación con los niveles de 1990. La Ley del Clima Europea, programada para marzo de 2020, respalda estos objetivos, y se planea revisar y posiblemente actualizar las regulaciones energéticas relevantes en junio de 2021. Ante el impacto significativo de establecer metas para respaldar el crecimiento de la energía renovable, la clarificación del objetivo para 2030 sigue siendo crucial. Para garantizar un crecimiento sólido del mercado, se sugiere incorporar un camino hacia metas a mediano plazo, junto con indicaciones claras de objetivos a largo plazo.

El análisis de la implementación de la política de diversificación de energías renovables de la UE y España ofrece valiosas lecciones. Para España después de 2020, se sugiere considerar el modelo de "cotización competitiva (subasta) + PPA a largo plazo". Esto, siempre y cuando la demanda de subvenciones no aumente, permite que las cotizaciones sean inferiores al precio de referencia de la energía del carbón o al "precio de referencia + precio flotante" del carbón, proporcionando un retorno de inversión estable y reduciendo los riesgos asociados. Otra lección es aplicar la política CfD para tecnologías de energía renovable de baja madurez. Dado que estos proyectos no son económicamente competitivos en el mercado de la electricidad, adoptar contratos CfD no solo permite la participación en la competencia del mercado de energía, sino que también estabiliza el rendimiento de las inversiones y reduce los riesgos para las empresas. Estas estrategias pueden contribuir a la implementación exitosa de políticas de energías renovables en España.

## 3.5 Conclusiones y recomendaciones-Acciones políticas de la UE y España

El desarrollo de la Unión Europea destaca la importancia de un entorno político sólido como condición necesaria y la principal fuerza impulsora del crecimiento de las energías renovables. Con más de dos décadas de experiencia, la UE ha aprendido lecciones cruciales, ofreciendo diversas opciones en el diseño e implementación de instrumentos políticos. Esto ayuda a determinar qué elementos son más valiosos para proporcionar un entorno de inversión estable

y maximizar el uso eficiente de fondos disponibles, contribuyendo así al aumento de la cuota de mercado de energías renovables.

El desarrollo ascendente de España es evidente, pero el tamaño del mercado impone la necesidad de actuación rápida y una dirección clara. Aunque las energías renovables han desempeñado un papel destacado, enfrentan el desafío de intensificar esfuerzos para lograr una integración completa en el sistema energético. Un enfoque estratégico y políticas efectivas son esenciales para mantener y mejorar este crecimiento sostenible.

-La fijación de objetivos es un factor importante para promover el desarrollo de energías renovables

-Es necesario formular y ajustar políticas y medidas adecuadas para asegurar el logro de los objetivos.

-La previsibilidad es el principal requisito para los inversores.

-Dentro de un marco estable, las medidas de política deben ajustarse de manera flexible para adaptarse a los desarrollos específicos del mercado, como los cambios en los costos de la tecnología.

-Se debe monitorear el desarrollo real del mercado para garantizar los objetivos y asegurarse de que las medidas de política se formulen adecuadamente.

-Compartir activamente información sobre el desarrollo del mercado con las partes interesadas, es fundamental para dar confianza a los inversores y garantizar el apoyo social.

En el futuro, la demanda de apoyo a las políticas de energía renovable será variable según la región, la tecnología y el tiempo, lo que requiere un diseño de políticas más complejo. Para España, las políticas a nivel nacional serán prioritarias sobre las regionales de la UE. El desglose de los objetivos e indicadores de la UE y el seguimiento de los avances mediante medidas eficaces deberían seguir siendo los principales medios.

Para España, es valioso aprender de las prácticas y experiencias de otros países europeos en la integración de energías renovables en el mercado eléctrico. En el ámbito de políticas de energías renovables, España puede beneficiarse de la experiencia alemana en términos de objetivos estratégicos y diseño de políticas específicas. Para lograr una alta integración de energía renovable en el sistema energético en el futuro, es esencial considerar el desarrollo desde una perspectiva sistémica. El papel de la energía renovable en la demanda, como en vehículos eléctricos y almacenamiento de energía, y las políticas de integración de redes eléctricas, redes de calefacción y redes de gas, pueden guiar la investigación de políticas de energías renovables en España.



## 4. Descentralización energética

### 4.1 Introducción

La descentralización energética ha cobrado una creciente relevancia tanto en la Unión Europea (UE) como a nivel global en los últimos años. A medida que la demanda de energía continúa en aumento y la urgencia de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero se hace más apremiante, se evidencia la necesidad imperante de realizar una transición hacia sistemas de energía más sostenibles y descentralizados.

En Europa, este cambio hacia la descentralización energética se manifiesta en varios niveles, abarcando desde aspectos políticos y de planificación hasta la ejecución de proyectos y la implementación de tecnologías específicas. En este capítulo, nos sumergiremos detalladamente en la situación actual de la descentralización energética en Europa, analizando los desafíos y oportunidades que enfrenta la región. Además, examinaremos las políticas y tecnologías que impulsan esta transformación hacia una energía más descentralizada y sostenible.

### 4.2 Descentralización energética: definición y conceptos clave

Antes de adentrarnos en los detalles de la descentralización energética en Europa, es importante definir algunos conceptos clave y comprender lo que implica la descentralización energética en términos generales.

Hasta el momento, no existe una denominación y definición absoluta y unificada de la descentralización energética en los países, regiones, e incluso en la literatura y los académicos en el campo de la energía. Hay una gran variedad de enfoques, agentes y formas de descentralización energética, que varían según el país y el contexto, y cuya definición está determinada por la diversidad de las experiencias locales. La energía descentralizada (ED) no tiene una definición fija y los términos relacionados también son ambiguos (“energía ciudadana”, “energía cívica”, “energía comunitaria”, “comunidades energéticas”, “prosumidor”, “prosumager”) y se consideran a menudo manifestaciones de la ED.

Aunque se suele estar interesado en el nuevo papel de los actores de la sociedad civil, los actores del sector privado en Europa y EEUU siguen dominando la propiedad de los activos eólicos y fotovoltaicos [1] y los actores existentes pueden liderar el proceso de descentralización energética y acelerar la transformación a través de experimentos de colaboración [2]. Refiriéndose al enfoque ideal de la transformación tecnológica social, Geels y otros [3] ilustran diferentes roles de los incumbentes y nuevos entrantes en cada camino para demostrar que los existentes pueden introducir elementos tecnológicos de empoderamiento en la participación comunitaria o limitada. Además, otros trabajos indican que los actores del sector privado a menudo comparten la propiedad, proporcionan tecnología y ofrecen diversos servicios legales, financieros, de intercambio y



agregación con la sociedad civil (“tercer sector”) [4], [5]. Los gobiernos locales a veces desempeñan un papel importante en la propiedad o el desarrollo de la energía descentralizada [6], [7], a veces fomentan la ED liderada por la sociedad civil o el “tercer sector” [8], o en algunos casos participan de manera muy limitada [9], [10], [11].

A partir de estos artículos representativos y teniendo en cuenta las contribuciones comunes de otros autores, se ha llegado a una definición avanzada de la descentralización energética que coexiste simultáneamente: "un proceso en el que se descentraliza en cierta medida la toma de decisiones y la participación en la producción, consumo, comercio, planificación y regulación de la energía, desde las autoridades centrales hasta los consumidores finales"[12]. Luego se comparan las lógicas de los partidarios y oponentes de la descentralización energética y se está muy de acuerdo con el siguiente punto de vista: debido a su visión del mundo e intereses relacionados, ha habido diferentes decisiones políticas, conclusiones de marcos de apoyo e incentivos en diferentes regiones y países, así como factores que afectan el consenso y la implementación.

En esencia, la descentralización energética se refiere a la transición de sistemas energéticos centralizados a sistemas más descentralizados, en los que la energía se produce y se consume a nivel local en lugar de ser generada por grandes centrales eléctricas y transportada a largas distancias a través de líneas de transmisión.

Esta transición hacia la descentralización energética se basa en la idea de que los sistemas de energía descentralizados son más sostenibles, eficientes y resilientes que los sistemas centralizados. Los sistemas de energía descentralizados pueden ofrecer una mayor seguridad energética, ya que la energía se produce y se consume localmente, lo que reduce la dependencia de las importaciones de energía y hace que los sistemas de energía sean menos vulnerables a interrupciones externas.

Además, los sistemas de energía descentralizados suelen ser más eficientes en términos de costos, ya que la energía se produce y se consume localmente, lo que reduce la necesidad de transportar la energía a largas distancias. Esto también puede conducir a una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, ya que la energía se produce y se consume de manera más eficiente.

En adición, la descentralización energética puede empoderar a las comunidades locales, al permitirles participar en la toma de decisiones sobre su futuro energético y al generar nuevas oportunidades económicas y sociales como el fomento de la innovación y el empleo en el sector de las energías renovables.

Sin embargo, todavía hay diferentes puntos de vista. E. Judson y otros examinan críticamente tres perspectivas en su artículo [2], señalando que "en la confusión de definiciones y prácticas que podrían describirse como descentralización, comúnmente se invocan tres amplias narrativas causales (implícita o explícitamente). Estas narrativas implican que un proceso de descentralización: i) conducirá a cambios apropiados en las reglas e instituciones, ii) serán más democráticos, y iii) estarán directa y causalmente vinculados a la descarbonización del sistema

energético.” Argumentan que la energía descentralizada podría ser contraproducente, dificultando la descarbonización y consolidando los intereses de los actores existentes.

### 4.3 Descentralización energética en Europa: situación actual

En la actualidad, la descentralización energética en Europa se encuentra en una fase inicial de desarrollo, aunque se está avanzando rápidamente. En los últimos años, se han implementado proyectos y políticas para fomentar la producción y el consumo de energía descentralizada en toda la región.

Uno de los principales desafíos a los que se enfrenta la descentralización energética en Europa es la dependencia de los combustibles fósiles y la infraestructura energética centralizada existente. La mayoría de los sistemas de energía en Europa todavía dependen en gran medida de los combustibles fósiles, lo que dificulta la transición hacia una energía más sostenible y descentralizada.

Sin embargo, a pesar de estos desafíos, hay varias iniciativas y políticas en marcha en toda Europa que está impulsando el cambio hacia la descentralización energética. En muchos países europeos, se han implementado programas de apoyo a la energía renovable, como la energía solar, eólica e hidroeléctrica, lo que ha permitido un mayor acceso a tecnologías de energía renovable para hogares y comunidades locales.

Además, muchos países europeos están invirtiendo en tecnologías avanzadas de redes eléctricas, como la red inteligente o smart grid, que permiten una mejor integración de fuentes de energía renovable intermitente y una mayor flexibilidad en la producción y el consumo de energía.

Otro factor importante que impulsa la descentralización energética en Europa es la creciente conciencia pública sobre la importancia de la sostenibilidad y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los ciudadanos europeos están cada vez más dispuestos a invertir en tecnologías de energía renovable y a participar en proyectos comunitarios de energía, lo que ha llevado a un mayor interés en la producción y el consumo de energía a nivel local.

En muchos casos, los proyectos de energía comunitaria se han convertido en una fuerza impulsora detrás de la descentralización energética en Europa. Estos proyectos implican la producción y el consumo de energía a nivel local, y están impulsados por comunidades locales que invierten en tecnologías de energía renovable y se benefician directamente de la producción de energía.

En algunos países europeos, como Alemania y Dinamarca, los proyectos de energía comunitaria han sido muy exitosos y han permitido un mayor acceso a la energía renovable para hogares y comunidades locales. Estos proyectos también han demostrado la viabilidad y eficacia de los sistemas de energía descentralizados en Europa.

## 4.4 Estudios de caso de la descentralización energética

### 4.4.1 Europa

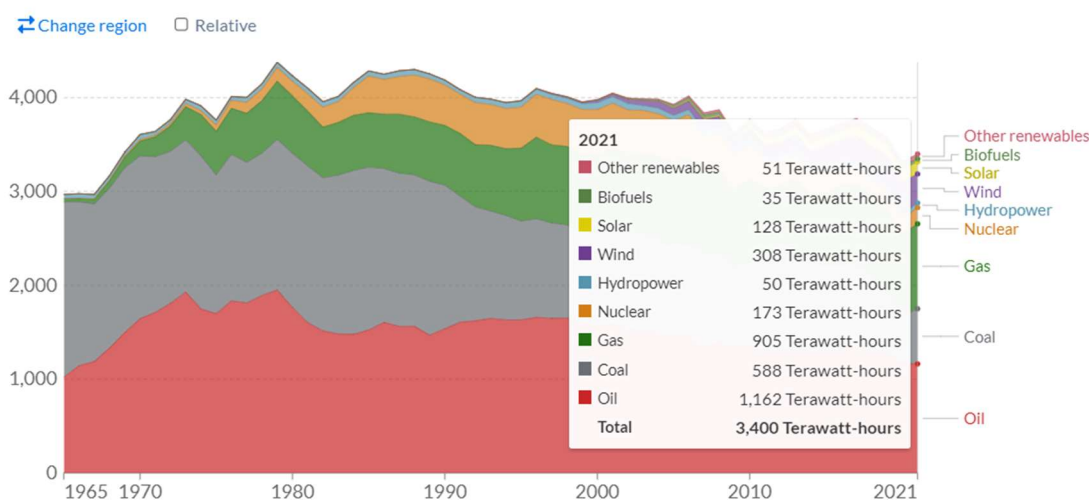
#### 4.4.1.1 Ej. País que ha descentralizado con éxito su sistema energético (Alemania)

Alemania es uno de los países líderes en el mundo en cuanto a la proporción de energía renovable en la producción de energía eléctrica, y es un modelo de desarrollo de energía renovable a nivel global. Puesto que en 2022 las energías renovables produjeron el 46% (256TWh) del consumo de energía alemán según UBA (Agencia Federal de Medio Ambiente)

#### Energy consumption by source, Germany

Primary energy consumption is measured in terawatt-hours (TWh). Here an inefficiency factor (the 'substitution' method) has been applied for fossil fuels, meaning the shares by each energy source give a better approximation of final energy consumption.

Our World  
in Data



Source: BP Statistical Review of World Energy  
Note: 'Other renewables' includes geothermal, biomass and waste energy.

OurWorldInData.org/energy • CC BY

Referencia: <https://ourworldindata.org>

Alemania es un ejemplo destacado de un país que ha logrado una descentralización exitosa de su sistema energético. La política energética alemana, conocida como *Energiewende* (Transición Energética), fue lanzada en 2010 con el objetivo de aumentar la proporción de energía renovable en la generación de electricidad del país al 80% para 2050.

La estrategia de *Energiewende* se centra en la generación de energía a partir de fuentes renovables, la eficiencia energética y la descentralización energética. Se promueve la instalación de plantas de energía renovable en áreas urbanas y rurales, y se fomenta la producción de energía descentralizada a través de sistemas de energía renovable distribuida, como la energía solar fotovoltaica y la energía eólica.

Desde la revisión de la Ley de Energía Renovable (EEG) en 2014, los legisladores alemanes han hecho de "... proteger la diversidad de participantes..." un objetivo político explícito. Otras medidas a nivel nacional y estatal federal también apoyan la energía ciudadana. La copropiedad de los consumidores jugó un papel clave en la Renovación de la Directiva de Energía Renovable (RED II) de 2018 como parte del Paquete de energía limpia. La propiedad para los consumidores de energía renovable actualmente toma dos formas principales: propiedad individual y acuerdos de arrendamiento, especialmente para proyectos pequeños de

almacenamiento de energía fotovoltaica o baterías, la autosuficiencia es la razón principal y los marcos legales se están alejando de las tarifas de alimentación garantizadas.<sup>18</sup>

La descentralización energética en Alemania ha llevado a la creación de empleo local y al crecimiento económico en las áreas rurales. Además, ha reducido la dependencia de los combustibles fósiles y ha mejorado la sostenibilidad ambiental. Según el informe del gobierno alemán, el número de empleados en el sector de las energías renovables aumentó a 338,000 en 2019, lo que representa un aumento del 4,5% en comparación con el año anterior.

#### 4.4.1.2 Ej. País que está actualmente en proceso de descentralización energética (España)

La principal fuente de energía utilizada para el consumo en España proviene principalmente de combustibles fósiles: petróleo (44,5%), gas natural (24,5%), energía renovable (14,3%), energía nuclear (12,1%) y carbón (3,9%).<sup>19</sup>

En cuanto a la capacidad de producción de energía sostenible en el país, según los datos de Irena Estadísticas De Capacidad Renovable 2022, la energía eólica ocupa la mayor proporción de todas las energías sostenibles, con una capacidad total de 27.497 MW, lo que representa el 44% del total de energía renovable de España de 61.517 MW. Le sigue la energía hidroeléctrica con 20.116 MW, que representa el 32%, y la energía solar con 15.952 MW, el 25%. La capacidad de energía de biomasa es de 1.278 MW, lo que representa el 2%.

Al igual que en el sistema energético general de España, el consumo de energía del sistema eléctrico se basa principalmente en combustibles fósiles. En 2016 se introdujeron fuentes de energía renovable como la energía eólica, la hidroeléctrica y la solar, que experimentaron un fuerte desarrollo y se convirtieron en la principal fuente de energía sostenible.

España ha avanzado significativamente en la adopción de energía renovable en los últimos años. El país ha establecido objetivos ambiciosos de energía renovable, con el objetivo de que el 42% de su generación de electricidad provenga de fuentes renovables para 2030. El país ha establecido políticas para promover la producción de energía renovable y reducir su dependencia de los combustibles fósiles. En 2020, España aprobó una ley de cambio climático y transición energética que establece objetivos ambiciosos para alcanzar la neutralidad de carbono para 2050.

Una de las medidas clave que España ha tomado para descentralizar su sistema energético es el fomento de la producción de energía renovable a nivel local. En 2019, el país lanzó un plan para instalar 3.000 MW de energía fotovoltaica y eólica en proyectos de menos de 50 MW en

---

<sup>18</sup> Consumer (Co-)Ownership in Renewables in Germany- Özgür Yildiz, Boris Gotchev, Lars Holstenkamp, Jakob R. Müller, Jörg Radtke, Laura Welle -2019 ( [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93518-8\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93518-8_13) )

<sup>19</sup> Fuente de información: Libro de La Energía en España 2019. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Secretaría de Estado de Energía. 2022. (Consultado el 18 de agosto de 2022).

áreas rurales y semiurbanas. Además, España ha introducido tarifas de energía renovable para los hogares y las empresas que producen su propia energía.

Otra iniciativa importante en la descentralización energética de España es el impulso a la movilidad sostenible. El país está promoviendo el uso de vehículos eléctricos y la construcción de infraestructura de carga para reducir la dependencia de los combustibles fósiles. España ha establecido una meta de tener 5 millones de vehículos eléctricos en la carretera para 2030.

La estrategia de descentralización energética de España se centra en la producción de energía renovable descentralizada, como la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. La creciente demanda de energía renovable ha llevado a la creación de empleo en el sector de las energías renovables, especialmente en áreas rurales.

Como uno de los tres modelos principales de copropiedad de los consumidores de energías renovables en España, los proyectos comunitarios es una manifestación de la energía descentralizada, aunque los consumidores desempeñan principalmente el papel del inversor, mientras que la responsabilidad de la propiedad, gestión y promoción recae principalmente en la organización patrocinadora. Por supuesto, las cooperativas de energía renovable son otra forma. En 2016 se registraron 33 cooperativas de consumo en los sectores de producción y distribución de electricidad, gas y agua.

Sin embargo, España todavía enfrenta desafíos en su proceso de descentralización energética. Uno de los principales obstáculos es la necesidad de modernizar su red eléctrica para facilitar la integración de la energía renovable a gran escala. También hay preocupaciones sobre la estabilidad del sistema energético debido a la intermitencia de las fuentes de energía renovable y la necesidad de equilibrar la oferta y la demanda en tiempo real. Este proceso de descentralización energética en España se ha enfrentado a desafíos significativos, sobre todo la falta de financiamiento y una regulación inadecuada. A pesar de esto, el gobierno español ha implementado políticas para fomentar la adopción de energía renovable y la descentralización energética, incluyendo la eliminación del impuesto solar y la simplificación del proceso de conexión a la red.

#### 4.4.1.3 Ej. País que ha enfrentado desafíos en la descentralización energética (Polonia)

Polonia es un país que depende en gran medida de los combustibles fósiles, con más del 80% de su generación de electricidad proveniente del carbón. Aunque Polonia ha establecido objetivos de energía renovable, la adopción de la energía renovable y la descentralización energética han sido lentas debido a los altos costos de la transición energética y la falta de infraestructura de energía renovable.

Polonia es un ejemplo de un país que ha enfrentado desafíos en su proceso de descentralización energética. A pesar de los objetivos ambiciosos de la UE en materia de energía renovable, Polonia todavía depende en gran medida del carbón y ha sido criticada por no tomar medidas suficientes para reducir su dependencia de los combustibles fósiles.

Una de las barreras clave para la descentralización energética en Polonia es la falta de inversión

en energía renovable a nivel local. El país ha sido criticado por no proporcionar incentivos suficientes para los productores de energía renovable y por no desarrollar una infraestructura adecuada para la producción y distribución de energía renovable.

Además, la industria del carbón en Polonia tiene una fuerte influencia política y económica, lo que ha llevado a la resistencia al cambio en el sector energético. Polonia también enfrenta desafíos en la modernización de su red eléctrica para integrar la energía renovable y equilibrar la oferta y la demanda en tiempo real.

A pesar de estos desafíos, Polonia ha tomado algunas medidas para descentralizar su sistema energético. El país ha introducido medidas para promover la producción de energía renovable a pequeña escala y ha establecido una meta de tener 8.5 GW de capacidad de energía renovable para 2025. Polonia también está promoviendo la movilidad eléctrica y ha establecido una meta de tener 1 millón de vehículos eléctricos.

#### 4.4.1.4 Ej. País que podría ser replicado en la descentralización energética (Inglaterra)

Agregar más casos de estudio podría brindar una visión más completa de la situación de la descentralización energética en Europa. Además de los casos mencionados anteriormente, es importante destacar el caso de Inglaterra, que también ha estado experimentando con la descentralización energética en los últimos años.

Desde 2010, el gobierno británico ha estado impulsando una política de descentralización energética a través de la implementación de programas y políticas que buscan fomentar la generación y el consumo de energía a nivel local. Entre las medidas destacan la creación de comunidades energéticas locales, la promoción de la generación de energía renovable a pequeña escala y la financiación de proyectos de energía sostenible a nivel local.

Un ejemplo concreto de estas iniciativas es el programa "Local Energy Assessment Fund", que ofrece financiamiento y asesoramiento técnico a las autoridades locales y a las comunidades para la implementación de proyectos de generación de energía renovable y la mejora de la eficiencia energética de los edificios públicos y privados. Además, el gobierno británico también ha lanzado el programa "Smart Export Guarantee", que incentiva a los hogares y pequeñas empresas a generar su propia energía renovable y vender el excedente a la red eléctrica.

Estas políticas y programas han tenido un impacto positivo en la promoción de la descentralización energética en Inglaterra. Según un informe del Instituto de Energía de Reino Unido<sup>20</sup>, la generación de energía renovable a pequeña escala ha aumentado significativamente en los últimos años, con un incremento del 30% en la generación de energía solar y un 15% en la generación de energía eólica.

---

<sup>20</sup> Energy Systems Catapult. (2020). Innovating to Net Zero: UK Net Zero Innovation Portfolio

Además, la descentralización energética ha sido vista como una oportunidad para mejorar la seguridad energética del país, reduciendo su dependencia de las importaciones de energía y aumentando su resiliencia ante posibles crisis energéticas. También se ha destacado el potencial de la descentralización energética para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a la lucha contra el cambio climático.

En conclusión, el caso de Inglaterra muestra cómo la descentralización energética puede ser una estrategia efectiva para fomentar la generación de energía renovable y mejorar la seguridad energética a nivel nacional. Las políticas y programas implementados por el gobierno británico podrían ser replicados por otros países europeos interesados en promover la descentralización energética como parte de sus políticas energéticas y climáticas.

#### 4.4.1.5 Ej. País que está en desarrollo de descentralización energética (Italia)

Italia es otro ejemplo de un país que ha experimentado con la descentralización energética en los últimos años. A continuación, se presenta un análisis detallado de su experiencia:

Italia ha estado implementando políticas y programas de energía renovable y descentralización energética desde la década de 1990, aunque su adopción a gran escala se produjo a partir de 2010. El país estableció un sistema de tarifas de alimentación, conocido como Conto Energia, en 2005, que otorgaba incentivos para la generación de energía renovable y la conexión a la red. Esto llevó a un aumento significativo en la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica, eólica y de biomasa en el país.

En 2011, Italia implementó una reforma del sector eléctrico que promovió la liberalización del mercado de la energía y la promoción de la eficiencia energética y las energías renovables. La reforma incluyó la eliminación gradual de los subsidios a los combustibles fósiles y la promoción de la producción de energía a partir de fuentes renovables. Como resultado, la capacidad instalada de energía renovable en Italia aumentó significativamente, pasando de 1 GW en 2001 a más de 20 GW en 2014.

Además, el proyecto SCORE de Horizonte 2020, lanzado en abril de 2018, tiene como objetivo promover la copropiedad de los consumidores de energía renovable en tres regiones piloto europeas, una de las cuales es el Valle de Susa, con la adopción de esquemas de participación accionarial de los consumidores.<sup>21</sup>

Además, Italia ha implementado programas específicos para fomentar la descentralización energética, como el Fondo Rotativo para la eficiencia energética (FIRE) y el Fondo para la descentralización energética (FDE). Estos programas tienen como objetivo promover la inversión en proyectos de energía renovable y eficiencia energética a nivel local y regional.

---

<sup>21</sup> Consumer (Co-)Ownership in Renewables in Italy- Andrea Borroni & Felicia van Tulder – 2019  
([https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93518-8\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93518-8_14))

También se han establecido incentivos para el autoconsumo de energía renovable, lo que ha llevado a un aumento en la instalación de sistemas de energía solar en techos de hogares y edificios comerciales.

Italia ha logrado importantes avances en la promoción de la energía renovable y la descentralización energética, lo que ha tenido un impacto positivo en la economía y el medio ambiente del país. La inversión en energía renovable y eficiencia energética ha creado empleos y ha aumentado la competitividad de la industria italiana. Además, la descentralización energética ha aumentado la resiliencia del sistema energético del país y ha reducido la dependencia de los combustibles fósiles importados.

Sin embargo, Italia aún enfrenta desafíos en la implementación de la descentralización energética, como la falta de un marco regulatorio claro y la necesidad de mejorar la eficiencia energética en edificios y hogares. Además, la dependencia del país de las energías renovables intermitentes, como la solar y la eólica, puede plantear desafíos en la gestión de la red eléctrica y la estabilidad del sistema.

En conclusión, la experiencia de Italia en la descentralización energética ha sido positiva en términos de promoción de la energía renovable y la creación de empleo, así como en la mejora de la resiliencia del sistema energético del país. Sin embargo, aún hay desafíos que enfrentar en la implementación de la descentralización energética, y es necesario un marco regulatorio claro y políticas efectivas para abordar estos desafíos y aprovechar al máximo los beneficios.

#### 4.4.1.6 Ej. País que ha enfrentado desafíos en la descentralización energética (Francia)

Al igual que otros países europeos, Francia ha adoptado políticas y programas para promover la energía renovable y la descentralización energética, y ha establecido objetivos ambiciosos para reducir su dependencia de los combustibles fósiles y aumentar su producción de energía renovable.

Un ejemplo de programa en Francia es el Plan Solar, lanzado en 2015, que tiene como objetivo aumentar la capacidad instalada de energía solar en el país de 5 GW en 2015 a 10 GW en 2018 y 18 GW en 2023. El plan también establece objetivos para el aumento de la energía eólica y otras fuentes de energía renovable. Además, Francia ha establecido un sistema de tarifas de alimentación, que permite a los productores de energía renovable vender la electricidad que producen a precios fijos garantizados por un período de 20 años.

Otro ejemplo interesante es la ciudad de Grenoble, que ha implementado un programa de energía descentralizada y renovable. La ciudad ha establecido una red de calefacción urbana que utiliza energía geotérmica, y ha instalado paneles solares en edificios públicos y privados. Además, Grenoble ha implementado una política de eficiencia energética en los edificios, y ha establecido una agencia municipal para promover la energía renovable y la eficiencia energética.

En Francia, a pesar del papel central y vinculante del estado tanto en la toma de decisiones energéticas como en las iniciativas ciudadanas en el campo de las energías renovables, a través



de documentos de política energética, en particular la Ley de Transición Energética de 2015 que incluye disposiciones a favor de proyectos comunitarios y participativos refleja un "regionalismo francés". De solo cuatro plantas de energía renovable de propiedad compartida en el sector energético en 2008, el número había llegado a 54 en 2016. En principio, la participación en proyectos de energías renovables puede ser a través de cualquier tipo de empresa, asociación o actividad comercial individual disponible, y las cooperativas también pueden ser una herramienta legítima. Las inversiones individuales en colectores solares térmicos e instalaciones fotovoltaicas en edificios privados, a menudo facilitadas por municipios mediante esquemas de financiamiento ofrecidos por el estado, están ganando popularidad. Si bien los proyectos de energía renovable toman muchas formas, las sociedades por acciones simplificadas (SAS) y las sociedades de cooperación de interés colectivo (SCIC) es la herramienta corporativa más utilizada. A pesar de los obstáculos, el número de estos programas está aumentando y se están volviendo más comunes.<sup>22</sup>

Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, Francia sigue dependiendo en gran medida de la energía nuclear para generar electricidad. El país cuenta con 58 reactores nucleares, que generan alrededor del 70% de su electricidad. El gobierno ha establecido objetivos ambiciosos para reducir la proporción de energía nuclear en la producción de electricidad al 50% para 2035, pero la implementación de esta política sigue siendo objeto de debate y controversia.

En resumen, Francia es otro ejemplo de un país que ha adoptado políticas y programas para promover la energía renovable y la descentralización energética, pero que enfrenta desafíos significativos debido a su dependencia de la energía nuclear y a las complejidades políticas y sociales asociadas con la transición a un sistema energético más descentralizado.

#### 4.4.2 América (Estados Unidos)

Para brindar una visión más completa de la situación de la descentralización energética en el mundo se agregarán más casos de estudio de otros continentes.

Estados Unidos tiene una larga historia de descentralización energética, particularmente en el contexto de la generación de electricidad. El país tiene una mezcla diversa de recursos energéticos y un marco regulatorio complejo que ha permitido un alto grado de independencia energética a nivel estatal.

El estado de California en Estados Unidos es uno de los principales ejemplos de descentralización energética. Desde la década de 1970, California ha adoptado políticas y programas para fomentar la generación de energía renovable y la eficiencia energética. En 2002, California estableció la Ley de Energía Renovable y Protección Climática, que estableció un objetivo de obtener el 33% de la electricidad del estado a partir de fuentes renovables para 2020.

La legislación de California ha creado un ambiente favorable para la energía descentralizada y

---

<sup>22</sup> Consumer (Co-)Ownership in Renewables in the Netherlands- Sanne Akerboom & Felicia van Tulder -2019

ha permitido que los consumidores generen su propia energía. En 2016, la Comisión de Energía de California aprobó la Ordenanza SB 1381, que permite a los hogares y las empresas vender su energía renovable excedente de forma más rentable a la red eléctrica. Además, California ha establecido programas de incentivos y financiamiento para proyectos de energía renovable y eficiencia energética.

El estado de Nueva York también ha adoptado políticas y programas para fomentar la descentralización energética. En 2014, el gobernador Andrew Cuomo lanzó la Estrategia de Energía Limpia de Nueva York, que estableció objetivos ambiciosos para la energía renovable y la eficiencia energética. Uno de los principales objetivos es obtener el 50% de la electricidad del estado a partir de fuentes renovables para 2030.

Nueva York ha establecido un modelo de mercado de energía renovable llamado NY-Sun, que ofrece incentivos y financiamiento para proyectos de energía solar. Además, el estado ha establecido programas de financiamiento y asistencia técnica para proyectos de energía renovable y eficiencia energética.

En resumen, Estados Unidos ha adoptado políticas y programas para fomentar la descentralización energética en varios estados, incluyendo California y Nueva York. Estos estados han establecido objetivos ambiciosos para la energía renovable y la eficiencia energética, y han establecido programas de incentivos y financiamiento para proyectos de energía descentralizada.

#### 4.4.3 Oceanía (Australia)

Australia es un país con un desarrollo muy rápido de la energía solar fotovoltaica, por lo que su efecto exitoso, no se debe solo a que el país aboga por el uso de energía sostenible, y los subsidios para la energía solar fotovoltaica descentralizada liderados por el gobierno central jugaron algún papel en la etapa inicial. [2] Sino que la adopción de esta tecnología está determinada en gran medida por los propios consumidores, la razón más importante es la reducción del coste de la tecnología y la política de subsidio económico del país y, por supuesto, también está impulsada por la reducción de los costes de energía de los hogares y la necesidad de garantizar el suministro de energía. Es decir, los aumentos en los precios de la electricidad entre 2010 y 2012 [14][15][16] y una gran tormenta en 2016 causaron problemas técnicos y provocaron cortes del sistema a gran escala [17].

En 2011, el gobierno australiano introdujo un programa llamado Renewable Energy Target (RET) con el objetivo de aumentar la proporción de energía renovable en el mix energético del país. Una parte importante del programa era incentivar la instalación de sistemas de energía renovable descentralizados, como paneles solares y turbinas eólicas pequeñas, en hogares y negocios.

El programa RET ha sido muy exitoso en la promoción de la adopción de energías renovables descentralizadas en Australia. En 2019, el 21,3% de la electricidad generada en Australia

provino de fuentes renovables, y gran parte de esta generación fue de pequeñas instalaciones descentralizadas. Además, la instalación de paneles solares en hogares y negocios ha sido particularmente exitosa, con más de 2,5 millones de sistemas de energía solar fotovoltaica instalados en todo el país a mediados de 2020.

Sin embargo, el éxito del programa RET no ha estado exento de desafíos. A pesar de la creciente demanda de energías renovables, ha habido cierta resistencia a la instalación de sistemas de energía renovable descentralizados por parte de las empresas de servicios públicos tradicionales, ya que esto ha reducido su capacidad para controlar la producción y distribución de energía. Además, la política energética a nivel federal ha sido inconsistente, lo que ha generado incertidumbre y dificultades para la planificación a largo plazo por parte de los actores del sector energético.

En general, el caso de Australia demuestra cómo la implementación exitosa de programas de descentralización energética puede ser impulsada por políticas gubernamentales efectivas y la incentivación adecuada de la adopción de energías renovables. Sin embargo, también destaca la importancia de superar los obstáculos políticos y de infraestructura que pueden surgir en el camino hacia una mayor descentralización energética.

#### 4.4.4 Asia

##### 4.4.4.1 Japón

Japón es otro ejemplo de un país que ha adoptado medidas para descentralizar su sistema energético. La dependencia de Japón del petróleo importado ha llevado al país a buscar formas de diversificar su mezcla energética y reducir su dependencia de los combustibles fósiles importados. La energía renovable es una parte clave de la estrategia de Japón para lograr este objetivo, y la descentralización del sistema energético es un componente importante de esta estrategia.

En 2011, después del desastre nuclear de Fukushima, el gobierno japonés adoptó una política energética que establecía un objetivo de generación de energía renovable del 24% para 2030. La política también incluía medidas para incentivar la generación distribuida, como la tarifa de alimentación, que establece precios preferenciales para la electricidad generada por sistemas solares, eólicos y de cogeneración que se alimentan a la red.

Además, Japón ha introducido un marco legal para fomentar la creación de comunidades de energía renovable, conocidas como "microredes". Estas comunidades de energía renovable están diseñadas para permitir que los hogares y las empresas generen, almacenen y compartan energía renovable dentro de una comunidad local. Las microredes son una forma de descentralizar el sistema energético y de fomentar la participación ciudadana en la transición a la energía renovable.

Un ejemplo de una comunidad de energía renovable en Japón es la isla de Miyakejima. La isla, ubicada a unos 180 km al sur de Tokio, es conocida por sus volcanes y sus aguas termales. La isla ha sido objeto de varios experimentos de generación de energía renovable y ha sido

utilizada como campo de pruebas para la generación de energía geotérmica, eólica y solar.

En 2014, se creó la Comunidad de Energía Renovable de Miyakejima, que cuenta con más de 300 hogares y empresas participantes. La comunidad está respaldada por un sistema de microrred que permite a los hogares y empresas compartir la energía generada por paneles solares y turbinas eólicas. La comunidad también ha implementado sistemas de almacenamiento de energía para garantizar la disponibilidad de energía durante las horas de poca producción.

Otro ejemplo de un proyecto de generación distribuida en Japón es el proyecto Solar Sharing, que se ha implementado en varias granjas en todo el país. El proyecto permite a los agricultores utilizar la tierra que rodea sus cultivos para generar electricidad a través de la instalación de paneles solares. Esto les permite diversificar sus ingresos y contribuir a la generación de energía renovable.

El Ministerio de Medio Ambiente de Japón apoya activamente la difusión de la iniciativa "Poder de la Comunidad ". Al mismo tiempo, el gobierno japonés considera la energía renovable descentralizada como una herramienta importante para promover el crecimiento económico regional y el empleo y resistir los desastres naturales. Bajo la dirección de varios ministerios y comisiones como el Ministerio de Economía, Comercio e Industria, Ministerio de Agricultura, Forestal y Pesca, y el Ministerio de Medio Ambiente, ha puesto en marcha un plan para impulsar medidas presupuestarias de despliegue regionales. Además de las cooperativas, las empresas de energía renovable pueden tomar todas las formas legales posibles de asociaciones comerciales bajo la ley comercial y societaria japonesa, como sociedad anónima (KK), sociedad de responsabilidad limitada (LLC) o sociedad de responsabilidad limitada (LLP), o pueden ser Plan de organización sin fines de lucro.<sup>23</sup>

Algunos académicos han propuesto la aplicación de blockchain en la transición energética de Japón. Por ejemplo, en su artículo, A. Ahl et al. discuten la importancia de blockchain desde cinco aspectos: tecnología, economía, sociedad, medio ambiente y organización, y analizan los desafíos y oportunidades de blockchain en la transición energética de Japón. Presentó la opinión de que "los laboratorios vivientes (living labs) y las cajas de arena regulatorias (regulatory sandboxes) son posibles bases institucionales para apoyar tales ecosistemas". Con la aplicación de tecnologías más innovadoras en energía sostenible en Japón, se brindarán más posibilidades para el desarrollo de energía sostenible.

En resumen, Japón ha adoptado medidas para descentralizar su sistema energético y fomentar la generación distribuida de energía renovable. La política energética del país establece objetivos ambiciosos para la generación de energía renovable y se han implementado medidas para fomentar la creación de comunidades de energía renovable y proyectos de generación

---

<sup>23</sup> Consumer (Co-)Ownership in Renewables in Japan- Jörg Raupach-Sumiya – 2019

([https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93518-8\\_27](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93518-8_27))

distribuida en todo el país. La descentralización del sistema energético de Japón es una parte importante de su estrategia para reducir su dependencia de los combustibles fósiles importados y lograr una mayor independencia energética.

#### 4.4.4.2 Nepal

Nepal es otro ejemplo interesante de un país que ha estado experimentando con la descentralización energética. Con una geografía montañosa y una población dispersa, Nepal ha luchado históricamente para proporcionar acceso universal a la energía. Sin embargo, en los últimos años, el país ha adoptado una estrategia de descentralización energética para abordar este problema.

El Programa Nacional de Energía Renovable de Nepal (NREP) es una iniciativa clave que tiene como objetivo aumentar la capacidad de energía renovable descentralizada en todo el país. El programa se enfoca en el desarrollo de microhidroeléctricas, paneles solares fotovoltaicos, sistemas de biogás y sistemas de cocción mejorados en áreas rurales remotas y marginadas.

Una de las iniciativas más exitosas del programa ha sido el desarrollo de microhidroeléctricas. Estas plantas hidroeléctricas pequeñas y descentralizadas, con una capacidad de generación de entre 5 y 100 kilovatios, se han instalado en aldeas remotas y montañosas que anteriormente carecían de acceso a la electricidad. Según el NREP, actualmente hay más de 1,100 microhidroeléctricas en funcionamiento en todo el país, proporcionando energía a más de 450,000 hogares.

Otro enfoque clave del programa ha sido el uso de paneles solares fotovoltaicos en áreas remotas y marginadas que no están conectadas a la red eléctrica nacional. Según el NREP, se han instalado más de 100,000 sistemas solares fotovoltaicos en áreas rurales y urbanas en todo el país, proporcionando energía a más de 500,000 hogares. El programa también ha implementado esquemas de financiamiento innovadores, como microcréditos, para ayudar a las personas de bajos ingresos a pagar los costos iniciales de instalación de los sistemas solares.

El programa también ha desarrollado sistemas de biogás y sistemas de cocción mejorados para proporcionar acceso a la energía en áreas rurales. Los sistemas de biogás utilizan residuos agrícolas y estiércol para producir biogás, que se puede utilizar para cocinar y generar electricidad. Según el NREP, actualmente hay más de 265,000 sistemas de biogás en funcionamiento en todo el país, proporcionando energía a más de un millón de hogares. Los sistemas de cocción mejorados utilizan tecnología más eficiente para reducir el consumo de combustibles fósiles y mejorar la calidad del aire en los hogares.

En conclusión, Nepal es un ejemplo interesante de cómo la descentralización energética puede ayudar a proporcionar acceso universal a la energía en áreas remotas y marginadas. A través del Programa Nacional de Energía Renovable de Nepal, el país ha adoptado una estrategia integral que incluye el desarrollo de microhidroeléctricas, paneles solares fotovoltaicos, sistemas de biogás y sistemas de cocción mejorados. Si bien todavía hay desafíos por enfrentar, como la

falta de financiamiento y la necesidad de fortalecer la capacidad institucional, el enfoque de Nepal en la descentralización energética ha demostrado ser efectivo para proporcionar acceso a la energía en áreas que no están conectadas a la red eléctrica nacional.

#### 4.4.4.3 India

El gobierno indio ha implementado una serie de políticas y programas para promover la energía renovable y descentralizada como una forma de garantizar el acceso a la energía en todo el país.

En 2003, el gobierno indio lanzó el Programa Nacional de Energía Renovable (National Renewable Energy Program), que estableció objetivos nacionales para la energía renovable y fijó un objetivo para alcanzar el 10% de la capacidad instalada de energía renovable para 2012. En 2010, el objetivo fue aumentado a 15% para 2020.

Además, el gobierno indio lanzó el Programa de Aldeas Electrificadas (Rural Electrification Program) en 2005, que tiene como objetivo proporcionar acceso a la energía a todas las aldeas del país. El programa se centra en la energía renovable descentralizada y utiliza tecnologías como la energía solar, la energía eólica y la biomasa para electrificar las aldeas. Hasta marzo de 2021, se electrificaron 633,215 aldeas en India, de las cuales el 82% estaban electrificadas a través de fuentes de energía renovable.

El gobierno también ha establecido un Fondo Nacional de Energía Limpia (National Clean Energy Fund) en 2010 para apoyar proyectos de energía limpia, incluyendo proyectos de energía renovable descentralizada. Además, se ha establecido un Fondo Verde para el Clima (Green Climate Fund) para apoyar proyectos de mitigación y adaptación al cambio climático en países en desarrollo, incluyendo proyectos de energía renovable descentralizada.

Un ejemplo destacado de la descentralización energética en India es el Programa de Aldeas Inteligentes (Smart Village Program), que se lanzó en 2014. El programa tiene como objetivo proporcionar acceso a servicios esenciales como energía, agua y saneamiento, educación y atención médica en las aldeas del país. El programa utiliza tecnologías de energía renovable descentralizada para proporcionar energía a las aldeas, incluyendo sistemas solares fotovoltaicos y sistemas de biogás. El programa también incluye la capacitación y el desarrollo de capacidades para las comunidades locales para que puedan gestionar y mantener las instalaciones de energía renovable.

En las áreas rurales, la energía renovable fuera de la red suele ser construida y operada con apoyo financiero público del gobierno y de organizaciones donantes, basado en proyectos. La propiedad generalmente se comparte en forma legal de cooperativas y se responsabiliza de la operación diaria y el cobro de tarifas eléctricas.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> Consumer (Co-)Ownership in Renewables in India- Satyendra Nath Mishra & Jens Lowitzsch -2019. ([https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93518-8\\_25](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93518-8_25))

Sin embargo, algunos académicos sugieren que los países del sur de Asia necesitan formular políticas nacionales de adquisición de energía con objetivos más específicos de energía renovable para poder implementar las políticas [20].

En resumen, India ha implementado una serie de políticas y programas para promover la energía renovable y descentralizada como una forma de garantizar el acceso a la energía en todo el país. El Programa de Aldeas Electrificadas y el Programa de Aldeas Inteligentes son ejemplos destacados de la descentralización energética en el país, que han utilizado tecnologías de energía renovable descentralizada para proporcionar acceso a la energía a las comunidades locales.

#### 4.4.4.4 China

En términos de descentralización energética, China ha adoptado una estrategia de "construcción conjunta y uso compartido". Esta estrategia se basa en la idea de que la energía renovable debe ser generada y utilizada a nivel local, y que la producción y distribución deben ser gestionadas de manera descentralizada.

En la provincia de Guangdong, por ejemplo, el gobierno ha puesto en marcha un proyecto piloto de "ciudades de energía verde" que tiene como objetivo integrar la energía renovable en la planificación urbana y construir una red de energía verde descentralizada. El proyecto ha tenido éxito en la integración de la energía solar y eólica en la infraestructura urbana y ha permitido la producción y consumo de energía a nivel local.

Otro ejemplo de descentralización energética en China es el desarrollo de microredes de energía renovable en zonas rurales aisladas. Estas microredes son pequeños sistemas de generación y distribución de energía que utilizan fuentes renovables locales, como la energía solar y eólica, para proporcionar energía a comunidades aisladas. El uso de microredes ha permitido el acceso a la energía en zonas remotas y ha mejorado la calidad de vida de las personas que viven allí.

En general, la estrategia de China de "construcción conjunta y uso compartido" ha demostrado ser efectiva en la promoción de la energía renovable y la descentralización energética a nivel local. Sin embargo, aún hay desafíos importantes que deben ser abordados, como la integración de las microredes en la red eléctrica nacional y la necesidad de una regulación y políticas adecuadas para fomentar el crecimiento de las energías renovables y la descentralización energética en todo el país. En el siguiente capítulo 7 se estudia con detalle el desarrollo de energía renovable en China.

#### 4.4.5 África

La descentralización energética también se está implementando en países africanos, donde el acceso a la energía es limitado y la electrificación rural es un gran desafío. Algunos países africanos están adoptando políticas y programas para fomentar la generación de energía renovable descentralizada y la electrificación rural. A continuación, se presentan algunos ejemplos de países africanos que están liderando la descentralización energética.

En primer lugar, se encuentra Tanzania, que ha puesto en marcha políticas para fomentar la energía renovable y la electrificación rural. El país ha establecido objetivos ambiciosos para aumentar la capacidad de generación de energía renovable y ha implementado incentivos para atraer a los inversores en el sector energético. Además, el gobierno ha adoptado medidas para mejorar la infraestructura eléctrica y ha creado una agencia para la electrificación rural con el fin de extender el acceso a la energía a las zonas rurales.

Otro país que está liderando la descentralización energética en África es Marruecos, que ha lanzado varios programas para fomentar la generación de energía renovable y la electrificación rural. El país ha invertido en grandes proyectos de energía renovable, como la planta de energía solar Noor en Ouarzazate, que es una de las mayores plantas de energía solar del mundo. Además, Marruecos ha adoptado políticas para fomentar la generación de energía renovable descentralizada y ha creado un programa para la electrificación rural, que se centra en la instalación de sistemas de energía renovable en las zonas rurales.

Por supuesto que también hay fracasos, como el Programa de política de compra de energía independiente de energía renovable (Renewable Energy Independent Power Producer Procurement Programme, REIPPP) en Sudáfrica estudiado en el artículo de Lawrence. [10] El REIPPP es un mecanismo de subasta centralizado diseñado para atender proyectos a gran escala desarrollados hasta la fecha principalmente por corporaciones multinacionales de servicios públicos [13]. Estos proyectos han resultado difíciles de adaptar a las condiciones locales, la cultura política, las redes sociales y las necesidades, y son menos propensos al seguimiento y control comunitario que los proyectos de menor escala [7]. Como caso de fracaso, proporcionará experiencia para el éxito futuro.

También es importante mencionar el caso de Kenia, que ha sido pionero en la adopción de energía renovable y la electrificación rural en África. El país ha implementado políticas y programas para fomentar la generación de energía renovable y ha creado un marco legal para la inversión en el sector energético. Además, Kenia ha puesto en marcha programas para la electrificación rural, que se centran en la instalación de sistemas de energía renovable, como paneles solares y turbinas eólicas, en las zonas rurales.

Por último, cabe destacar el caso de Ruanda, que ha adoptado políticas para fomentar la generación de energía renovable y la electrificación rural. El país ha establecido objetivos ambiciosos para aumentar la capacidad de generación de energía renovable y ha creado un marco legal para la inversión en el sector energético. Además, Ruanda ha puesto en marcha programas para la electrificación rural, que se centran en la instalación de sistemas de energía renovable en las zonas rurales.

#### 4.4.6 Conclusiones

En conclusión, la descentralización energética se está convirtiendo en una tendencia mundial, y muchos países están adoptando políticas y programas para fomentar la generación de energía



renovable descentralizada y la electrificación rural. La descentralización energética puede mejorar la seguridad energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar el desarrollo económico y social en todo el mundo.

En la Sección 6.4, la autora extrae las siguientes conclusiones después de estudiar el estado de desarrollo, los casos, los factores impulsores, la importancia institucional y los desafíos de la energía distribuida en países de Europa, América y Oceanía, Asia y África. En los Estados Unidos, el deseo de modernizar la red eléctrica obsoleta y mejorar la capacidad de la infraestructura urbana crítica ha llevado a la propuesta y el énfasis de proyectos de energía descentralizada [18]. En Europa, la atención se centra más en las propias comunidades, donde una mayor autonomía local está impulsando proyectos energéticos comunitarios. En Asia, los abrumadores desafíos de las megaciudades en rápido crecimiento y la creciente demanda de electricidad están impulsando el desarrollo de la infraestructura. Australia es diferente, ya que la necesidad de autosuficiencia del prosumidor y la menor dependencia de los servicios públicos es el motor del desarrollo de la energía descentralizada. Aunque África ha experimentado fracasos, el desarrollo de la energía descentralizada se está impulsando debido a la gran demanda de electricidad en áreas remotas y empobrecidas que carecen de suministro eléctrico y la necesidad de un acceso generalizado al suministro eléctrico. Aunque los factores impulsores son diferentes, la autora encuentra que la aplicación y el desarrollo de la energía descentralizada ha desempeñado un papel positivo en la promoción de la economía, la sociedad, la política y el medio ambiente de las regiones y países de todos los continentes. Al mismo tiempo, la orientación y el apoyo de las políticas han afectado en gran medida el desarrollo de la energía descentralizada. Por lo tanto, la autora se centrará en estos aspectos en las siguientes secciones.

## 4.5 Impactos de la Descentralización Energética

### 4.5.1 Impactos Económicos

La descentralización energética tiene varios efectos económicos que pueden afectar positiva o negativamente a las economías locales y nacionales.

En primer lugar, la descentralización energética puede crear nuevas oportunidades económicas en la forma de empleo y producción local. Por ejemplo, la instalación de paneles solares en los tejados de los edificios puede crear empleos para electricistas, instaladores y técnicos de mantenimiento. Además, la producción local de energía renovable puede reducir la dependencia de las importaciones de energía y, por lo tanto, disminuir el costo de la energía para los consumidores.

La descentralización energética puede ofrecer precios energéticos más baratos y estables a largo plazo, proporcionar beneficios económicos para sostener a la familia de las áreas marginadas, incluso para familias con condiciones económicas relativamente cómodas, ya que a largo plazo, pueden ahorrar en costes energéticos. Según Imran Khan, Los sistemas solares domésticos en las economías en desarrollo pueden extender las horas de trabajo, generar ingresos y ahorrar costes en estas regiones económicamente desfavorecidas [19].

Además, reduce las pérdidas de energía en la distribución, ya que se consume localmente. Y por lo tanto, también prioriza el uso de fuentes locales de energía renovable.

Sin embargo, la descentralización energética también puede tener efectos negativos sobre las economías locales y nacionales. Por ejemplo, la inversión en tecnologías de energía renovable puede requerir una inversión inicial significativa, lo que puede ser un obstáculo para las empresas y los hogares con bajos ingresos. Si bien la descentralización técnica de la infraestructura eléctrica reduce los costos de la red, también puede generar costos más altos para las centrales eléctricas [21]. Además, la descentralización energética puede crear una mayor competencia en el mercado energético, lo que puede llevar a la desaparición de las empresas de energía tradicionales y a la pérdida de empleos.

#### 4.5.2 Impactos Sociales

La descentralización energética también tiene impactos sociales importantes.

En primer lugar, la descentralización energética puede fomentar la participación ciudadana en la producción y gestión de energía dando poder de propiedad y control a la comunidad local, permitiéndoles tomar decisiones y tener voz en el proceso. En este proceso de toma de decisiones, se presentan políticas y estrategias energéticas adaptadas a la región por parte de la propia comunidad. Por ejemplo, los proyectos de energía renovable comunitaria pueden involucrar a los residentes locales en la propiedad y la gestión de proyectos de energía, lo que puede fomentar el sentimiento de propiedad y responsabilidad de la comunidad y social.

Puede aumentar la conciencia de los residentes sobre el uso de energías renovables, y promueve el consenso local para la construcción de fábricas y la infraestructura relacionada con energías renovables. Incluso hasta aumentar la confianza social en la aplicación de energías renovables para lograr un desarrollo sostenible continuo.

Además, la descentralización energética puede reducir la pobreza energética al proporcionar acceso a la energía a comunidades marginadas y rurales. También puede aumentar el tiempo de aprendizaje de los niños mejorando la educación, facilitar el acceso a la información y el entretenimiento, beneficiar la salud, mejorar el nivel de vida, mejorar la seguridad y reducir las tasas de delincuencia en las zonas económicamente subdesarrolladas [19].

Por último la descentralización energética reduce de la dependencia de los combustibles fósiles, que es un recurso escaso hoy en día, de esta manera también reduce la dependencia social y política, aumentando la seguridad social.

Sin embargo, la descentralización energética también puede tener efectos negativos en las comunidades locales. Por ejemplo, los proyectos de energía renovable pueden enfrentar la oposición de las comunidades locales que se oponen a la instalación de turbinas eólicas o paneles solares en sus áreas residenciales. Además, la descentralización energética puede crear desigualdades en el acceso a la energía renovable debido a la falta de recursos y conocimientos

en algunas comunidades.

### 4.5.3 Impactos Ambientales

La descentralización energética también tiene importantes efectos ambientales.

En primer lugar, la descentralización energética puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y, por lo tanto, contribuir a la mitigación del cambio climático. La producción local de energía renovable puede reducir la necesidad de importar combustibles fósiles, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además, la descentralización energética puede fomentar la adopción de tecnologías más limpias y eficientes en la producción y el uso de energía. Por ejemplo, los sistemas de calefacción y refrigeración geotérmicos pueden reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa.

## 4.6 Descentralización energética en Europa: desafíos y oportunidades

A pesar de los avances en la descentralización energética en Europa, aún existen desafíos importantes que deben abordarse para permitir una transición exitosa hacia sistemas de energía más sostenibles y descentralizados.

Uno de los principales desafíos es la falta de infraestructura de redes eléctricas avanzadas y tecnologías de almacenamiento de energía. A medida que más hogares y comunidades locales adoptan tecnologías de energía renovable, se necesitan sistemas avanzados de redes eléctricas y almacenamiento de energía para permitir una mayor integración de la energía renovable en la red eléctrica.

Además, la dependencia de los combustibles fósiles y la infraestructura energética centralizada existente sigue siendo un obstáculo importante para la transición hacia una energía más sostenible y descentralizada en Europa. Es necesario un mayor compromiso y apoyo de los gobiernos y las empresas para acelerar la transición hacia una energía más limpia y descentralizada.

La dificultad encontrada en el proceso de descentralización en Alemania es que es difícil para los partidarios de la energía comunitaria implementar sus puntos de vista a nivel federal y en el proceso de elaboración de políticas. Esto hace que sea difícil reflejar la opinión pública de acuerdo con la situación real en la política. [23]

Sin embargo, a pesar de estos desafíos, la descentralización energética en Europa presenta una gran oportunidad para impulsar la innovación y la creación de empleo en el sector de la energía. La transición hacia sistemas de energía más sostenibles y descentralizados requerirá una inversión significativa en tecnologías avanzadas y sistemas de redes eléctricas, lo que puede generar nuevas oportunidades de empleo y crecimiento económico.

Además, la descentralización energética en Europa también puede tener un impacto positivo en

la equidad y la justicia social. Al permitir un mayor acceso a la energía renovable para hogares y comunidades locales, la descentralización energética puede ayudar a reducir la brecha energética y mejorar la calidad de vida de las personas en comunidades más marginadas.

#### 4.7 Descentralización energética en Europa: regulaciones y políticas gubernamentales

A continuación se explora con más detalle la regulación y las políticas gubernamentales para apoyar la descentralización energética en Europa.

La regulación y las políticas gubernamentales son un factor clave en el fomento de la descentralización energética en Europa. En este apartado, exploraremos en detalle algunas de las políticas y regulaciones que se han implementado en Europa para apoyar la generación de energía renovable a nivel local y comunitario, y cómo estas políticas pueden ayudar a superar los obstáculos financieros y tecnológicos a los que se enfrentan las comunidades energéticas.

La participación ciudadana en la generación de energía renovable es fundamental para la descentralización energética. Los ciudadanos pueden participar de muchas formas en la generación de energía renovable, desde la instalación de paneles solares en sus propias casas hasta la creación de cooperativas energéticas comunitarias. Sin embargo, para que los ciudadanos participen en la generación de energía renovable, se necesita una regulación y políticas que les permitan hacerlo.

La Unión Europea (UE) ha establecido una serie de políticas y programas destinados a promover la descentralización energética y la transición hacia fuentes de energía renovable. Algunas de las políticas y programas clave son:

##### A. Política Energética de la Unión Europea

La política energética de la UE tiene como objetivo garantizar un suministro de energía seguro, sostenible y asequible para los ciudadanos y las empresas europeas. La UE ha establecido objetivos ambiciosos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la proporción de energías renovables en el consumo de energía.

Uno de los principales instrumentos de la política energética de la UE es el paquete de medidas de energía y clima para 2030. Este paquete establece objetivos vinculantes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40% con respecto a los niveles de 1990 y aumentar la proporción de energías renovables en el consumo de energía al 32%. También establece objetivos no vinculantes para mejorar la eficiencia energética en un 32,5%.

##### B. Directiva sobre Energías Renovables

La Directiva sobre Energías Renovables establece un marco jurídico para la promoción y el uso de energías renovables en la UE. La directiva establece objetivos nacionales vinculantes para el uso de energías renovables en los Estados miembros, con el objetivo general de aumentar la proporción de energías renovables en el consumo de energía de la UE.

La Directiva sobre Energías Renovables también incluye disposiciones sobre la promoción de tecnologías de generación de energía descentralizada, como la cogeneración y la energía geotérmica.

#### C. Programa Horizon 2020

Horizon 2020 es el programa de financiación de investigación e innovación de la UE para el período 2014-2020. El programa financia proyectos en una amplia gama de áreas, incluyendo energía, clima y medio ambiente.

En el ámbito de la energía, Horizon 2020 financia proyectos que promueven la eficiencia energética, las energías renovables y la innovación en el sector energético. El programa también financia proyectos que promueven la participación de los ciudadanos y las comunidades en la transición energética, incluyendo proyectos de energía descentralizada.

#### D. Programa LIFE

El Programa LIFE es el programa de financiación de la UE para el medio ambiente y la acción por el clima. El programa financia proyectos que promueven la conservación y protección del medio ambiente, así como la mitigación y adaptación al cambio climático.

En el ámbito de la energía, el Programa LIFE financia proyectos que promueven la eficiencia energética, las energías renovables y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El programa también financia proyectos que promueven la participación de los ciudadanos y las comunidades en la transición energética, incluyendo proyectos de energía descentralizada.

En Europa, la regulación y las políticas gubernamentales para apoyar la participación ciudadana en la generación de energía renovable varían según el país y la región. En general, existen tres tipos principales de políticas que se han utilizado para fomentar la participación ciudadana: incentivos fiscales, sistemas de tarifas de alimentación y cooperativas energéticas.

Los incentivos fiscales son una forma común de apoyar la generación de energía renovable. Estos incentivos pueden incluir exenciones fiscales para la instalación de paneles solares o créditos fiscales para la compra de vehículos eléctricos. En algunos países, como Alemania, se ofrecen incentivos fiscales para la instalación de baterías de almacenamiento de energía, lo que puede ayudar a los propietarios de viviendas y empresas a almacenar la energía generada por paneles solares para su uso posterior.

Los sistemas de tarifas de alimentación son otra forma común de apoyar la generación de energía renovable. Estos sistemas permiten a los propietarios de paneles solares y otras tecnologías de generación de energía renovable vender la energía que producen a la red eléctrica a precios garantizados durante un período de tiempo específico. Los sistemas de tarifas de alimentación han sido particularmente efectivos en el fomento de la participación ciudadana en la generación de energía renovable en países como España, Italia y Francia.

Las cooperativas energéticas son otra forma en que los ciudadanos pueden participar en la generación de energía renovable. Estas cooperativas son organizaciones sin fines de lucro que se crean para desarrollar y operar proyectos de energía renovable a nivel comunitario. Los miembros de la cooperativa pueden invertir en el proyecto y recibir una parte de los ingresos generados por la venta de energía renovable a la red eléctrica. Las cooperativas energéticas han tenido éxito en países como Dinamarca y Alemania, donde han sido fundamentales en la expansión de la energía eólica y solar.

Además de estos tres tipos de políticas, también existen otras regulaciones y políticas que pueden ayudar a fomentar la participación ciudadana en la generación de energía renovable. Estas pueden incluir la simplificación de los permisos y trámites necesarios para la instalación de tecnologías de energía renovable, la promoción de modelos, etc.

Por ejemplo, en Alemania se estableció un sistema de tarifas de alimentación (feed-in tariff) en la década de 1990, que garantizaba a los productores de energía renovable un precio fijo por la energía que generan durante un período de tiempo determinado. Esta política permitió que muchos ciudadanos y pequeñas empresas invirtieran en la generación de energía renovable y contribuyeran a la descentralización energética del país.

Otro ejemplo es el programa de Energía Comunitaria del Reino Unido, que brinda apoyo financiero y técnico a las comunidades que desean desarrollar proyectos de energía renovable. El programa también establece un marco regulatorio para facilitar la conexión de proyectos comunitarios a la red eléctrica nacional. Esto ha permitido que las comunidades energéticas británicas crezcan significativamente en los últimos años.

Dentro del primer tipo principal de políticas mencionados anteriormente, los gobiernos pueden ayudar a superar los obstáculos financieros y tecnológicos a los que se enfrentan las comunidades energéticas a través de diferentes herramientas. Por ejemplo, pueden ofrecer subvenciones y préstamos con tasas de interés preferenciales para proyectos de energía renovable comunitarios. También pueden implementar políticas de compras públicas verdes, que requieren que los organismos gubernamentales compren una cierta cantidad de energía renovable a los productores locales. También pueden reducir los aranceles de importación o establecer aranceles de importación mínimos sobre equipos y componentes de generación de energía renovable [19].

Otra herramienta que los gobiernos pueden utilizar para apoyar la descentralización energética es la planificación espacial. Algunos países europeos, como Dinamarca y Alemania, han desarrollado planes de uso del suelo que incluyen zonas específicas para la generación de energía renovable a nivel comunitario. Esto permite que las comunidades energéticas identifiquen áreas adecuadas para desarrollar proyectos de energía renovable y reduzcan el tiempo y los costos asociados con la obtención de permisos y la conexión a la red eléctrica nacional.

Algunos académicos también han propuesto incorporar a la comunidad de energía renovable

como una entidad legal en una institución legal social independiente (marco normativo) para dar forma a la transición hacia un nuevo sistema energético justo. [22]

Otro enfoque de política gubernamental que puede fomentar la participación ciudadana en la generación de energía renovable es el establecimiento de cuotas de energías renovables para la producción y consumo de electricidad. Algunos países europeos, como Alemania y España, han establecido cuotas obligatorias para la generación de energía renovable, lo que ha estimulado el crecimiento del sector de energía renovable en estas regiones. Por ejemplo, Alemania tiene como objetivo generar el 65% de su electricidad a partir de fuentes renovables para 2030, mientras que España se ha fijado una cuota del 74% de la generación eléctrica proveniente de fuentes renovables para 2030.

Un obstáculo importante para la participación ciudadana en la generación de energía renovable es la falta de tecnología y experiencia. Para superar estos desafíos, los gobiernos pueden establecer programas de capacitación y educación para las comunidades interesadas en la energía renovable. Por ejemplo, en algunos países europeos, los programas de capacitación en energía renovable están disponibles para ciudadanos y empresas, incluyendo talleres y cursos en línea. Además, algunos países europeos han establecido redes de apoyo a la energía renovable, que pueden proporcionar información y asesoramiento técnico a las comunidades interesadas.

Muchos académicos creen que el gobierno local juega un papel vital en el campo de la energía, por lo que es necesario discutir cómo debería jugar un papel. K. Sperling et al., en su artículo, al examinar dos ejemplos diferentes, Samsø: un parque eólico cercano a la costa de propiedad municipal y Høje-Taastrup: Un programa de financiación municipal para la rehabilitación energéticamente eficiente de viviendas privadas. [7] Muestra cómo la acumulación secuencial permite la realización de nuevos proyectos. Los nuevos proyectos no se crean "desde cero", sino que se inician y construyen sobre la base de proyectos anteriores. Como conclusión, estos académicos argumentan que las autoridades locales utilizan insumos de la "periferia de la teoría del círculo concéntrico", es decir, del mercado de la electricidad, a nivel nacional y de la UE, para permitir proyectos locales innovadores. Los principales obstáculos para el proyecto Høje-Taastrup parecen ser los presupuestos municipales limitados y los vínculos débiles con el gobierno central. Y este fenómeno es universalmente relevante, por lo que el presupuesto es un factor crucial sin importar qué proyecto se menciona en el artículo o incluso proyectos en cualquier otro país y región. Luego, las autoridades locales deberían hacer un uso apropiado de los recursos "externos" para comprometerse con los "internos", especialmente para optimizar el bienestar económico de las comunidades locales para obtener el apoyo de los tomadores de decisiones locales, al tiempo que hacen un uso apropiado de la base del proyecto "internos" existente para aumentar la viabilidad de nuevos proyectos consiguiendo el apoyo de la "periferia" mientras se cumplen compromisos sociales más amplios.

En conclusión, la descentralización energética es un fenómeno en rápido crecimiento en Europa, impulsado por el interés de las comunidades en participar en la producción de energía renovable. Sin embargo, existen obstáculos significativos para la participación ciudadana en la generación

de energía renovable, como la falta de apoyo financiero y tecnológico y la falta de marcos regulatorios adecuados. Los gobiernos pueden desempeñar un papel importante en el fomento de la participación ciudadana en la generación de energía renovable a través de políticas y programas específicos, incluyendo esquemas de incentivos financieros, programas de capacitación y educación, y marcos regulatorios favorables. Si se implementan correctamente, estas políticas pueden ayudar a garantizar un futuro sostenible y equitativo para la producción de energía en Europa.

#### 4.8 Implicaciones para la seguridad energética a nivel nacional y europeo.

La descentralización energética puede tener tanto implicaciones positivas como negativas en la seguridad energética, dependiendo de cómo se implemente y de las características del sistema energético de cada país.

Por un lado, la descentralización energética puede aumentar la resiliencia del sistema energético, al diversificar las fuentes de energía y reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados. Si se promueve la producción local de energía renovable y se fomenta la participación ciudadana en la toma de decisiones energéticas, se puede mejorar la seguridad energética a nivel local y regional.

Sin embargo, también puede haber riesgos asociados con la descentralización energética. Por ejemplo, si la producción de energía renovable no está bien coordinada con la red eléctrica nacional, puede haber problemas de congestión o de falta de capacidad para transportar la energía generada. Además, si se promueve demasiado la producción local de energía renovable, puede haber problemas de sobreproducción en momentos de baja demanda, lo que podría poner en riesgo la estabilidad del sistema eléctrico.

A nivel europeo, la descentralización energética también puede tener implicaciones para la seguridad energética de la UE en su conjunto. Si bien la UE ha establecido objetivos ambiciosos de energía renovable y ha implementado políticas para fomentar la descentralización energética, también ha habido preocupaciones sobre la falta de coordinación entre los diferentes Estados miembros en la promoción de la energía renovable y en la planificación de la infraestructura energética. Esto podría poner en riesgo la seguridad energética de la UE, al no garantizar la disponibilidad de energía suficiente y a precios asequibles.

En resumen, la descentralización energética puede tener tanto implicaciones positivas como negativas en la seguridad energética, y es importante que se promueva de manera coordinada y planificada para minimizar los riesgos y maximizar los beneficios.

#### 4.9 Descentralización energética en Europa: datos destacados

A continuación, se presentan algunos datos destacados sobre la descentralización energética en Europa:



Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), el 26% de la capacidad total de energía renovable instalada en Europa en 2019 era propiedad de hogares y empresas, lo que indica un aumento significativo desde el 17% en 2009.

En 2020, el sector de la energía renovable en Europa empleaba a más de 1,4 millones de personas, según un informe de la Asociación Europea de Energías Renovables. Esto representa un aumento del 35% en comparación con 2012.

Según el informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente de 2020, la energía renovable representó el 34% del consumo de energía bruta final de Europa en 2018, y se espera que este porcentaje aumente en el futuro.

En España, uno de los líderes en la descentralización energética en Europa, el número de instalaciones de energía renovable en hogares y empresas ha aumentado de 464 en 2010 a más de 86,000 en 2020, según datos de la Asociación de Empresas de Energías Renovables.

En Dinamarca, un ejemplo destacado de la descentralización energética en Europa, más del 30% de la energía generada en el país proviene de fuentes renovables propiedad de hogares y empresas, según la Asociación de Energías Renovables de Dinamarca.

Estos datos ilustran el creciente impacto de la descentralización energética en Europa y cómo está impulsando la transición hacia sistemas de energía más sostenibles y equitativos.

En resumen, la descentralización energética en Europa tiene el potencial de transformar el sistema energético actual en uno más limpio, sostenible y justo. A través de políticas gubernamentales efectivas que fomentan la participación ciudadana, brindan apoyo financiero y establecen regulaciones justas, los gobiernos pueden ayudar a impulsar el crecimiento de las comunidades energéticas y promover la adopción de energía renovable en toda Europa.

## 4.10 Conclusiones

### 4.10.1 Resumen de los principales hallazgos

En este artículo, hemos examinado el concepto de descentralización energética y su importancia en el contexto de la Unión Europea. Hemos explorado las políticas y programas de la UE para fomentar la descentralización energética, como la Directiva de Energías Renovables y los programas Horizon 2020 y LIFE. También hemos analizado tres estudios de caso de países europeos que han experimentado diferentes niveles de éxito en la implementación de la descentralización energética: Alemania, España y Polonia.

Nuestro análisis muestra que la descentralización energética puede tener impactos positivos significativos en términos económicos, sociales y ambientales. En términos económicos, la descentralización energética puede estimular la inversión local, crear empleos y reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados. En términos sociales, puede mejorar la equidad energética y aumentar la participación ciudadana en la toma de decisiones energéticas.

En términos ambientales, puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la resiliencia climática.

Sin embargo, también hemos observado que la implementación de la descentralización energética puede enfrentar desafíos significativos, como la falta de apoyo político y financiero, la resistencia a los cambios en las estructuras de poder existentes y la falta de capacidad técnica y organizativa. Estos desafíos deben abordarse para garantizar que la descentralización energética se implemente de manera efectiva y sostenible.

#### 4.10.2 Implicaciones para la política energética europea

Nuestro análisis sugiere que la descentralización energética puede ser una estrategia efectiva para lograr los objetivos energéticos y climáticos de la UE. Para fomentar la descentralización energética, la UE debe seguir apoyando políticas y programas que promuevan la inversión local, la participación ciudadana y el desarrollo de capacidades técnicas y organizativas. La UE también debe abordar los desafíos y barreras que enfrenta la implementación de la descentralización energética, como la falta de apoyo político y financiero.

Además, la UE debe adoptar un enfoque integrado y coordinado para la política energética, que aborde tanto la generación como el consumo de energía, y promueva la eficiencia energética y la gestión inteligente de la energía. La UE también debe trabajar en colaboración con los países miembros para asegurar que la transición energética sea justa y equitativa, y que se preste especial atención a las regiones y comunidades que enfrentan desventajas estructurales.

En conclusión, la descentralización energética ofrece oportunidades significativas para lograr objetivos económicos, sociales y ambientales en Europa. La implementación efectiva de la descentralización energética requerirá una combinación de políticas y programas a nivel nacional y de la UE, así como una colaboración efectiva entre los sectores público y privado, y la sociedad civil.

En resumen, la descentralización energética en Europa es un proceso en evolución que tiene el potencial de impulsar la transición hacia sistemas de energía más sostenibles, justos y equitativos en la región. Con el compromiso y el apoyo adecuados, Europa puede liderar la transición global hacia una energía más limpia y descentralizada en las próximas décadas.



## 5. Generación de energía solar en China

### 5.1 Introducción

Después de estudiar el desarrollo de las comunidades energéticas en varias regiones del mundo en el capítulo anterior, la autora descubrió que la investigación sobre las comunidades energéticas en China está casi en blanco, por lo que cree que llenar esta parte del vacío completará el estudio global de energía descentralizada. Por lo tanto, a partir de la composición y las condiciones nacionales del consumo de energía de China (apartado 7.1-7.2), en primer lugar, la autora estudia el estado de desarrollo de las energías renovables de China y los problemas energéticos que enfrenta (apartado 7.3), de acuerdo con la recopilación y clasificación de las políticas gubernamentales centrales y locales relevantes (apartado 7.4.1-7.4.2). Confirmó que la energía renovable supone la dirección de desarrollo de la energía futura de China (apartado 7.2), y luego se enfoca en el estado de desarrollo de la energía fotovoltaica de este país (apartado 7.4.3), clasificando los modelos de generación de energía fotovoltaica (apartado 7.4.4) y los casos específicos en varios lugares locales (apartado 7.4.5). Analiza las razones del rápido desarrollo de la energía fotovoltaica distribuida en China (apartado 7.4.6), los factores que influyen en el desarrollo (apartado 7.4.10), las ventajas (apartado 7.4.7), las desventajas (apartado 7.4.8) y los problemas encontrados en el desarrollo (apartado 7.4.9). Posteriormente, presenta direcciones y sugerencias para ajustar futuras regulaciones nacionales (apartado 7.4.11).

A través de esta serie de investigaciones longitudinales y sistemáticas, la autora encontró que en China no existe una comunidad energética entendida como en Europa. Sin embargo, en el país asiático se implementó el plan de desarrollo de energía sostenible a través de una fuente de energía distribuida con características basadas en las propias condiciones nacionales del país (apartado 7.6). Esto también explica las preguntas abiertas de investigación que quedaron en el capítulo anterior y llena vacíos relevantes. Como complemento, al final de este capítulo, la autora mejora la investigación sobre la generación de energía solar en China al resumir el desarrollo de la CSP (apartado 7.5).

### 5.2 Antecedentes

La esencia de la optimización energética es garantizar la seguridad energética del país, proporcionando un suministro seguro y confiable a largo plazo, así como tener un buen entorno ecológico y menores costes de energía. Al mismo tiempo, también debería proporcionar un soporte básico para la respuesta global al cambio climático. Por lo tanto, para promover la transformación sostenible y baja en carbono del sistema energético, el propósito es eliminar gradualmente la dependencia de la energía fósil.

China es uno de los mayores productores y consumidores de energía del mundo. La Oficina de

Prensa del Consejo de Estado publicó un libro blanco sobre el desarrollo energético para la nueva era en 2020, que demostró de manera integral los logros energéticos para la nueva era en y expone las políticas e iniciativas importantes para promover el desarrollo de nuevas energías. La estructura de producción y consumo de energía ha conformado, básicamente, un sistema de producción de energía impulsado por el carbón, el petróleo, el gas natural, la electricidad, las nuevas energías y las energías renovables.

Los datos del año 2021 muestran que el consumo de carbón de China aumentó en 123 millones de toneladas de carbón estándar, mientras que el CO<sub>2</sub> aumentó en 350 millones de toneladas en 2021. Desde 2013, el aumento anual no ha superado los 160 millones de toneladas, así que 2021 supone un año de aumento de carbono. Por tanto, no se ha logrado la reducción de carbono ni la descarbonización. Aunque el gobierno central ha estado proponiendo frenar las industrias de alto consumo de energía y de alta emisión, muchos gobiernos locales quieren confiar en estas industrias de alto consumo de energía para aumentar el PIB local, recuperar la economía después de la epidemia y aumentar su desempeño político, por lo que las instrucciones dadas por el gobierno central no han sido cumplidas a nivel local. Aunque los conceptos de “碳达峰” (emisión máxima de dióxido de carbono) y “碳中和” (neutralidad de carbono) han sido reconocidos y discutidos por el pueblo chino en los últimos años, la reducción de las emisiones de carbono hacia la descarbonización no se ha logrado en 2021, sino que la emisión de carbono se ha incrementado.

Hablemos primero de la situación actual de la reserva energética: rica en carbón, con carencia de petróleo y escasez de gas. Además de la energía fósil, también es rica en nuevas energías renovables y bajas en carbono, como la energía solar, la energía eólica y la energía hidráulica. En el país predomina la energía fósil, de la cual el carbón es la principal, que representa el 56,8 del consumo de energía primaria, mientras que la energía no fósil representa el 15,9 %. El plan actual es "controlar estrictamente la política del uso de carbón" durante el período del 14º Plan Quinquenal<sup>25</sup>, es decir, va a aumentar su uso, pero estará más controlado de forma estricta. En el siguiente período del Plan Quinquenal, que es el 15º, habrá una pequeña reserva de las energías existentes que será usado en caso de emergencia. Aun así, "estimo que esta cantidad de reserva no será muy grande", en palabras de Du Xiangwan (miembro de la Academia de Ingeniería Nacional de China y subdirector del Comité Asesor Nacional de Expertos en Energía); así lo manifestó en una entrevista en CCTV2 el 12 de marzo de 2022. Sin embargo, después del año 2030, se estima que se utilizarán algunas fuentes de energía renovables que han demostrado ser seguras y confiables para reemplazar las fuentes de energía tradicionales. Solo de esta manera podremos avanzar de manera gradual y constante hacia la energía sostenible.

---

<sup>25</sup> Plan quinquenal de China: visión económica y objetivos de desarrollo descritos por el país para los próximos cinco años. China comenzó a formular su primer "plan quinquenal" en 1953. El período de octubre de 1949 a finales de 1952 fue el tramo de recuperación económica nacional de China y el período de 1963 a 1965 fue el de ajuste económico nacional. Por tanto, el nombre completo del 14º Plan Quinquenal mencionado en el artículo es el decimocuarto Plan Quinquenal, que es el plan nacional de China para el desarrollo económico y social nacional de 2021 a 2025.

**Figura 50.** Composición de consumo total de energía de China en el año 2020 (millones de toneladas equivalentes de carbón estándar<sup>26</sup>).

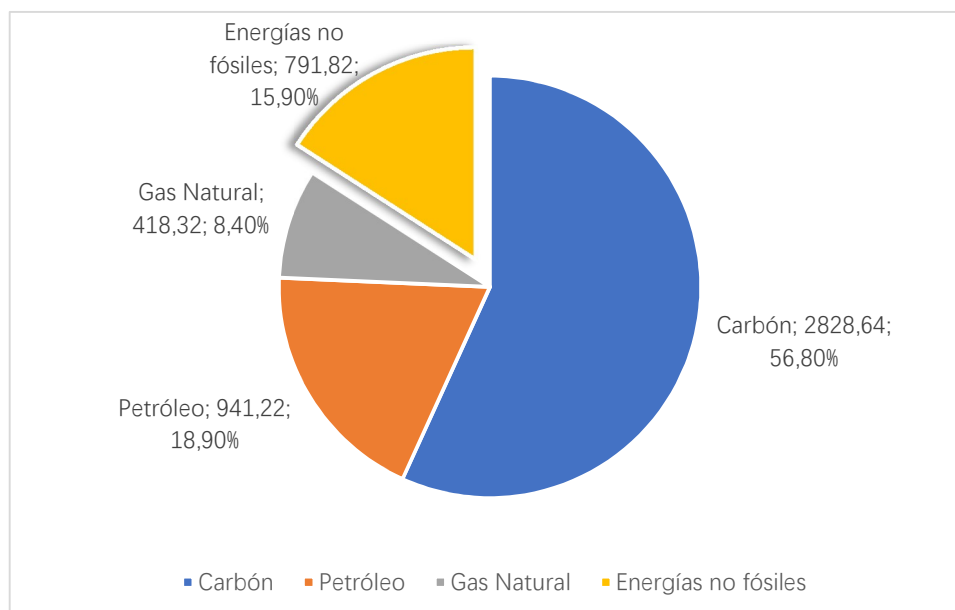


Imagen elaborada<sup>27</sup> por la autora. Los datos provienen del Anuario Estadístico de China 2022 publicado por la Oficina Nacional de Estadísticas de China en 2023.<sup>28</sup>

China se encuentra actualmente en la primera etapa de transición de la energía fósil a la energía renovable, pero cabe señalar que el uso principal de la energía fósil de China es diferente con respecto a los países europeos. La supresión del uso de carbón en Europa tiene un menor impacto en el crecimiento económico en comparación con China, en el que el carbón es el pilar de la energía del país; mientras que la principal energía fósil en Europa es el petróleo y el gas natural. Por lo tanto, China debe ser más cautelosa y estable en la dirección de la supresión de carbón. El estado lo mencionó en el informe de trabajo del gobierno en las dos sesiones: la Asamblea Popular Nacional (APN) y la Conferencia Consultiva Política del Pueblo Chino (CCPPCh), en 2022. Se debe lograr una reducción y sustitución ordenada del carbón. Por lo tanto, China se dio cuenta de que las condiciones nacionales básicas dependen principalmente

<sup>26</sup> Las unidades de medida de la energía son el carbón estándar, el petróleo estándar y el gas estándar. Carbón estándar: índice de conversión unificado utilizado para calcular varias cantidades de energía de acuerdo con un valor calorífico específico del carbón. También llamado equivalente de carbón. El poder calorífico del carbón estándar no tiene un valor uniforme reconocido internacionalmente hasta el momento. China utiliza el valor calorífico promedio de varias fuentes de energía para convertirlo en carbón estándar: El poder calorífico medio del carbón bruto se calcula en 20,91 MJ/kg y el coeficiente convertido a carbón estándar es de 0,714. El valor calorífico medio del petróleo crudo se calcula en 41,82 MJ/kg, y el coeficiente convertido a carbón estándar es de 1,429. El poder calorífico del gas natural se calcula en 38,92 MJ/m<sup>3</sup>, y el coeficiente convertido a carbón estándar es de 1,33. Referencia: Datos Extraídos de *Encyclopedia of Chinese Resources Science*.

<sup>27</sup> Programa Excel

<sup>28</sup> Fuente: <http://www.stats.gov.cn/sj/ndsjs/2022/indexch.htm>

del carbón, pero que este se debe utilizar de manera limpia y eficiente. Al mismo tiempo, reducir el carbono de manera segura y desarrollar nuevas energías teniendo en cuenta una premisa mayor: garantizar la seguridad energética del país.

Según los últimos datos, la instalación de energía solar y eólica de China ha superado los 300 millones de kilovatios (estas fuentes de energía renovable continuarán expandiéndose en China). Antes del desarrollo de la energía solar y eólica, la energía hidroeléctrica fue la primera energía no fósil desarrollada en el país asiático; ocupando ese lugar durante muchos años y, actualmente, con una contribución de casi 400 millones de kilovatios. Con todo, se espera que la producción eólica y solar superen a la hidroeléctrica en el futuro, pero, al mismo tiempo, también se valora la energía de biomasa debido a su diversidad de formas de producción. En la actualidad, la energía nuclear en China es muy baja debido a las preocupaciones nacionales e internacionales sobre su seguridad. Sin embargo, si en el futuro, con el apoyo del desarrollo tecnológico, garantizando su seguridad y la eliminación de los residuos nucleares, es posible que el país considere desarrollar este tipo de energía. Hoy en día, la energía renovable conforma el 15,9 % de la energía primaria en China. La previsión es que para 2025 esta proporción aumente hasta alrededor del 20 %. El estado obliga a que la proporción de energía nueva debe alcanzar, como mínimo, el 25 % para el año 2030. Y para el año 2060 debe ser la mayor parte de la energía primaria del país.

Según los datos del Gobierno Popular Central de la República Popular China<sup>29</sup>, desde su implantación hasta finales de octubre de 2021, la capacidad instalada de energía renovable en China ha alcanzado los 1002 mil millones de kilovatios; duplicándose desde finales de 2015 y con un aumento de 10,2 puntos porcentuales, representando el 43,5 % de las instalaciones de energía total del país. Entre ellos, la capacidad instalada de generación de energía hidroeléctrica, eólica, solar y de biomasa alcanzó los 385 millones, 299 millones, 282 millones y 35,34 millones de kilovatios, respectivamente. De los cuales todos continuaron manteniendo el primer escalón mundial: durante 17 años, 12 años, 7 años y 4 años consecutivos.

Cabe señalar que la capacidad instalada de energía eólica y fotovoltaica de China era de solo 1,06 millones de kilovatios en 2005, y en 16 años aumentó exponencialmente a 580 millones de kilovatios en 2021. Se encuentra así entre los diez principales fabricantes del mundo en energía eólica, fotovoltaica y en el campo de las baterías eléctricas, ocupando los lugares 7, 6 y 7, respectivamente.

Sin embargo, a pesar de los grandes avances, la proporción de energías renovables en el suministro de energía primaria de China sigue siendo baja. Según el Anuario estadístico de China 2021<sup>30</sup>, publicado por la Oficina Nacional de Estadísticas de China, a finales de 2020, la energía no fósil de China representó una proporción del consumo de energía primaria de tan solo el 15,9 %; del cual, aparte de la energía nuclear, la proporción de generación de energía hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa es solo del 13,68 %.

---

<sup>29</sup> Fuente: <http://www.gov.cn/>

<sup>30</sup> Fuente: <http://www.stats.gov.cn/sj/ndsjs/2022/indexch.htm>

**Figura 51.** Consumo total de energía de China y composición (millones de toneladas equivalentes de carbón estándar).

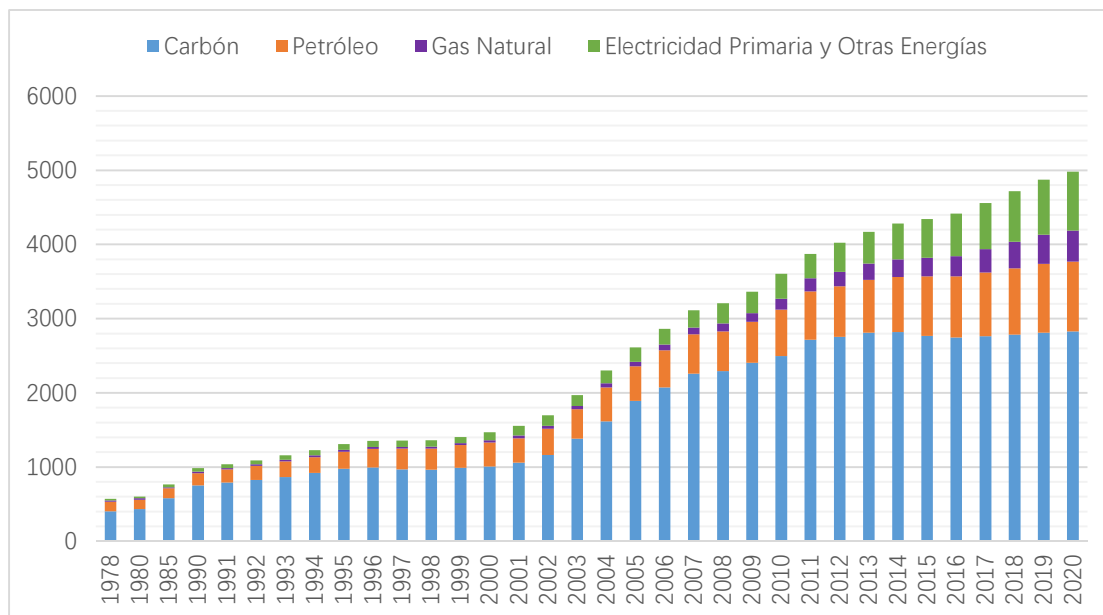
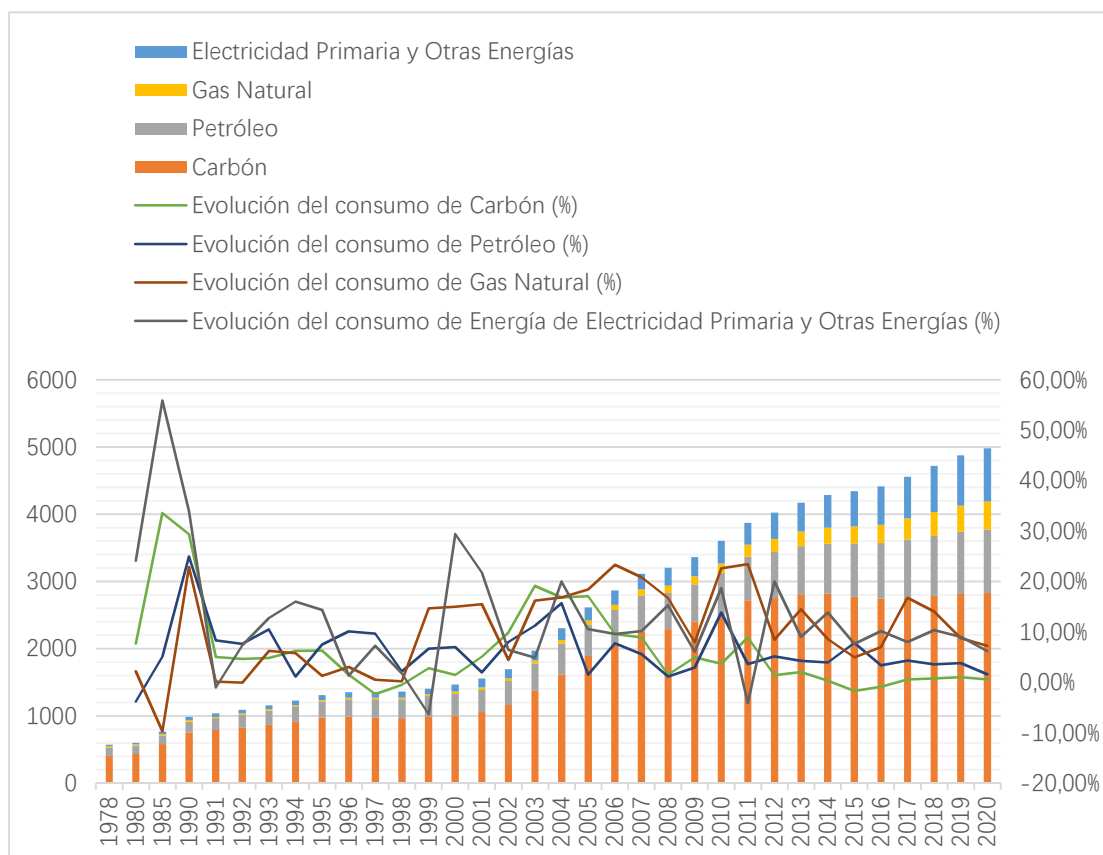


Imagen elaborada<sup>31</sup> por la autora. Los datos provienen del Anuario Estadístico de China 2022 publicado por la Oficina Nacional de Estadísticas de China en 2023.<sup>32</sup>

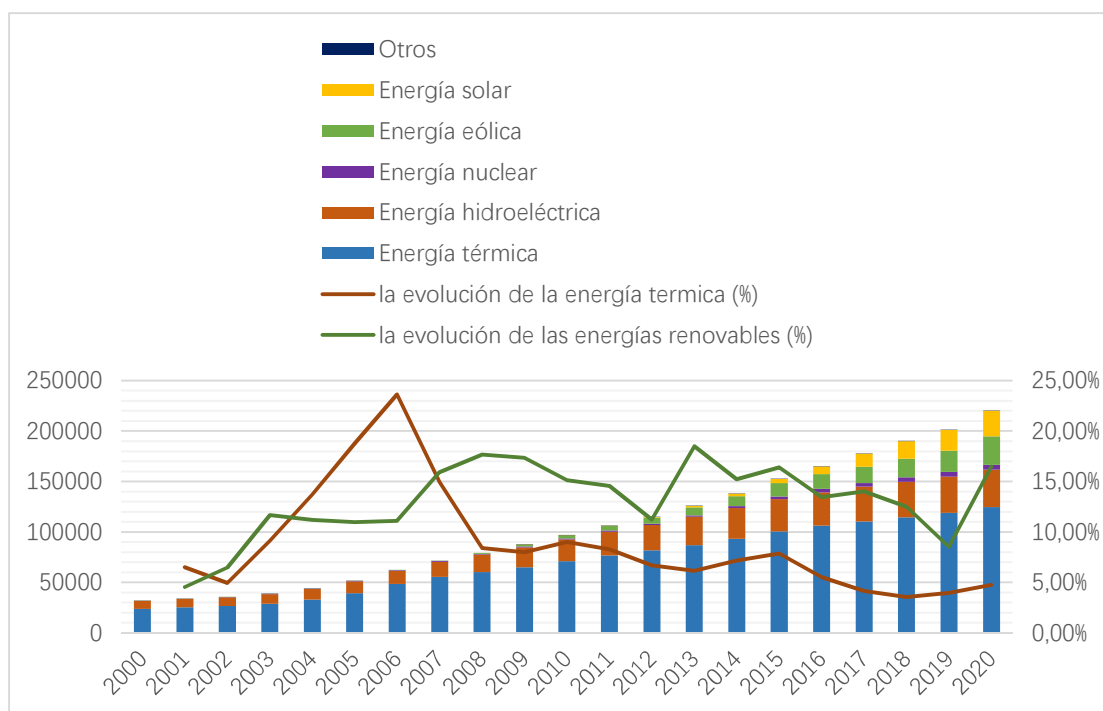


<sup>31</sup> Programa Excel

<sup>32</sup> Fuente: <http://www.stats.gov.cn/sj/nds/2022/indexch.htm>

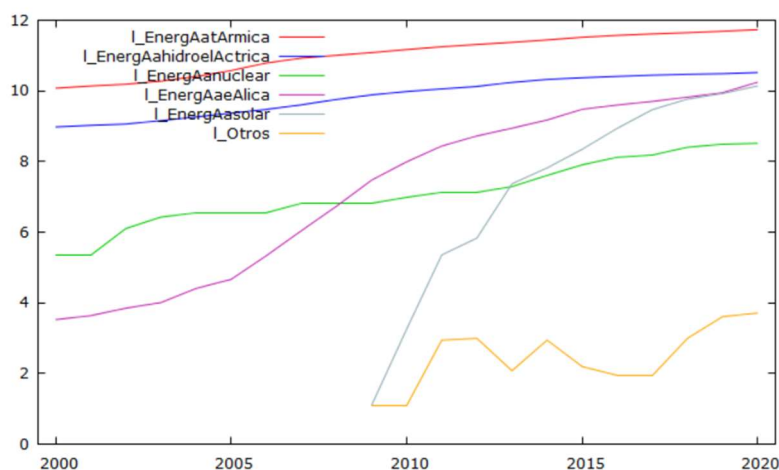


**Figura 52.** Capacidad instalada para generar distintos tipos de energías en China (Unidad: Diez mil kilovatios).



Imagen<sup>33</sup> elaborada por la autora. Los datos provienen del Anuario Estadístico de China 2021 publicado por la Oficina Nacional de Estadísticas de China en 2022.

**Figura 53.** Evolución de capacidad instalada para generar distintos tipos de energías en China (Unidad: Diez mil kilovatios)



Imagen<sup>34</sup> elaborada por la autora. Los datos provienen del Anuario Estadístico de China 2022 publicado por la Oficina Nacional de Estadísticas de China en 2023.

<sup>33</sup> Programa Excel

<sup>34</sup> Programa Gretl

Actualmente, el consumo de energías primarias en China depende significativamente de las energías térmicas<sup>35</sup> tradicionales. Aunque la proporción de energía nueva en el consumo total de la energía es mucho menor que la de la energía fósil, la energía nueva aumenta año tras año, y se espera una mayor evolución de cara al futuro y una transformación renovable para cambiar la estructura energética del país.

### 5.3 El desarrollo futuro de la energía de China.

La proporción actual de energía sostenible aún es baja y la transición energética hacia el desarrollo de energías renovables ha traído vitalidad y nuevas ventajas competitivas a la economía china. Un ejemplo son los coches eléctricos (su propia cadena de industria de la batería de energía, duró alrededor de 10 años). En el campo de los vehículos eléctricos ha alcanzado la vanguardia a través de la tecnología, la industria y el mercado, una meta que la industria automotriz tradicional no podría alcanzar durante décadas. En cuanto a la batería, que es la parte más importante del coche eléctrico, más del 60 % de las de todo el mundo están fabricadas en China; y ocurre lo mismo con respecto a la industria de generación de energía fotovoltaica, donde del 70 % al 90 % de los componentes son fabricados en China. Con el avance de la transición energética, el desarrollo de nuevas energías impulsará más industrias de fabricación de las mismas e industrias bajas en carbón, lo que será un factor y una fuente muy importante para la competitividad internacional de China respecto a otros países en la futura era de la economía baja en carbón. Por lo tanto, creo que este es un aspecto importante en la contribución de energía renovable al desarrollo económico de China.

El 22 de septiembre del año 2020, en el debate general de la 75ª Asamblea General de las Naciones Unidas, el Presidente Xi Jinping declaró, de forma solemne, que China "establece que, para el año 2030, alcance el máximo de emisiones de dióxido de carbono y, para el año 2060, lograr la neutralidad con respecto al carbono" (de ahora en adelante, se abreviará como el objetivo de "doble carbono" u objetivo "3060"). En consecuencia, como se mencionó en el apartado anterior, China formuló el 14º Plan Quinquenal para el Desarrollo de Energía Renovable el 8 de junio de 2022, que estipula claramente que la proporción de nueva energía (energía renovable) debe alcanzar el 25 % para el año 2030, convirtiéndose en 2060 en la mayor proporción de energía primaria. El 12 de diciembre de 2020, el Presidente Xi Jinping enfatizó en la Cumbre de Ambición Climática, lo siguiente: "Para el año 2030, las emisiones de dióxido de carbono de China por unidad de PIB se reducirán en más del 65 % en comparación con el año 2005, y la proporción de energía no fósil en el consumo de energía primaria alcanzará el 25 %. El volumen de existencias forestales aumentará en 6000 millones de metros cúbicos en comparación con 2005, y la capacidad instalada total de energía eólica y solar alcanzará la cifra de más de 1200 millones de kilovatios". A finales de octubre del año 2021, el gobierno emitió un documento institucional de alto rango sobre el diseño del objetivo de "doble carbono", que señala que el consumo de la energía no fósil debería representar más del 80 % para el año 2060

---

<sup>35</sup> Energía térmica: La energía térmica generada por la combustión de combustibles sólidos y líquidos como el carbón, el petróleo y el gas natural se convierte en energía cinética para producir electricidad.

(salvo una pequeña parte de la energía nuclear, el mayor porcentaje vendrá de las energías renovables).

Entre las energías renovables, la energía solar y la energía eólica se han convertido en las energías de mayor crecimiento debido a sus evidentes ventajas: son limpias, seguras y, además, inagotables. Tanto el desarrollo como la utilización de dichas energías son de gran importancia para ajustar la estructura energética, promover la revolución de la producción y el consumo de energía e impulsar la construcción de una civilización más ecológica poco a poco. Las energías renovables, como la energía solar y la energía eólica, son un recurso que un país puede controlar por sí mismo. Independientemente de dónde haya guerra o quién suministre recursos como el petróleo o el gas, esta no se ve afectada por una cuestión geopolítica. Si un país llega a controlar este recurso, no dependerá de los demás países. Por lo tanto, resulta la única manera de obtener seguridad energética en la actualidad y a largo plazo. De este modo, para que la energía tradicional desaparezca paulatinamente, debe crecer en condiciones de seguridad y constancia la nueva energía.

China se encuentra, en nuestros días, en el proceso de transición de una "China acomodada"<sup>36</sup> a una "China próspera"<sup>37</sup>. En esta etapa, el objetivo marcado de "estabilizar la economía y lograr un progreso constante", en mi opinión, es estabilizar y desarrollar la industria del país, porque la participación de la industria actual en China en el PIB es del 38 %. En los años anteriores el

---

<sup>36</sup> "China acomodada" proviene del libro blanco *China's Comprehensive Well-off* publicado por la Oficina de Información del Consejo de Estado de la República Popular China, el 28 de septiembre de 2021. En 1979, Deng Xiaoping (vicepresidente del Comité Central del PCCh, presidente del Comité Nacional de la Conferencia Consultiva Política del Pueblo Chino, viceprimer ministro del Consejo de Estado y vicepresidente de la Comisión Militar Central) dijo en *Pensando en la realización de los cuatro objetivos de la modernización*: "Nuestro objetivo, en primer caso, es construir una sociedad modestamente acomodada para el año 2000, lo que significa que, sobre una base de alimentos y alojamientos suficientes, la calidad de vida mejorará, hasta lograr una alimentación y un alojamiento abundantes".

La "familia acomodada" mencionada en él se refiere a un estado de vida relativamente próspero logrado mediante un mayor desarrollo basado en la alimentación y el alojamiento. En 1991, la Oficina Nacional de Estadística formó un grupo de investigación con investigadores de 12 departamentos, incluidos los de planificación, finanzas, salud y educación. De acuerdo con la connotación de una sociedad acomodada propuesta por el Comité Central del Partido y el Consejo de Estado, se han determinado 16 indicadores básicos de seguimiento y umbrales de bienestar: (1) PIB per cápita de 2500 yuanes (calculado a divisas de 1980, 2500 yuanes equivalen a 900 dólares estadounidenses); (2) renta disponible urbana per cápita de 2400 yuanes; (3) el ingreso neto per cápita de los agricultores es de 1200 yuanes; (4) el área de uso per cápita de viviendas urbanas es de 12 metros cuadrados; (5) el área de uso per cápita de viviendas con estructura de acero y madera en áreas rurales es 15 metros cuadrados; (6) la ingesta diaria per cápita de proteínas es de 75 gramos; (7) cada persona urbana tiene un área pavimentada de 8 metros cuadrados. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación formula el estándar de desarrollo de vida, y en el coeficiente de Engel del 40 % a 50 % es "acomodado".

<sup>37</sup> "China próspera" proviene del artículo de la red de noticias del Partido Comunista de China de 2022 sobre la construcción del partido: "Para lograr la prosperidad común, debemos adherirnos al liderazgo del partido".

porcentaje es todavía mayor, y, comparando con otros países, es relativamente alto. Al mismo tiempo, China es el país de manufacturas más importante del mundo; la mayoría de los productos exportados son productos industriales, y no responde a energía, productos agrícolas o servicios. El estatus económico de China en la economía mundial actual se ha debido a la manufacturación. Por lo tanto, si China quiere estabilizar su economía, la parte industrial es indispensable. El crecimiento económico constante requiere un aumento del consumo de energía, y para lograr la "Prosperidad común"<sup>38</sup> China también debe considerar encontrar un equilibrio entre el proceso de transición energética, la reducción de carbono y el desarrollo económico.

En esta etapa, en cuanto a la urgencia de la reducción de carbono, se trata de comprobar si es factible cuando lo implemente. Y, en cuanto a la industria tradicional, se debe garantizar su crecimiento y su demanda razonable de la energía. Como se mencionó al comienzo de este capítulo, la esencia de la optimización energética es garantizar la seguridad energética del país; un suministro seguro y confiable a largo plazo y tener un buen entorno ecológico y menores costes de energía. Entonces, a la hora de formular e implementar los objetivos mencionados anteriormente ("doble carbono" o "3060") que es la desfosilización de energía a nivel nacional y gubernamental, a su vez, también es necesario garantizar el crecimiento seguro y estable de la industria.

#### 5.4 La principal contradicción que enfrenta la energía de China

China continental presenta una distribución desigual de la población, donde más del 94 % de los ciudadanos viven en el 43 % de la superficie total del país. La línea Heihe-Tengchong refleja claramente la disparidad entre las áreas de distribución de la población de China en el sureste y el noroeste<sup>39</sup>. Esto ha generado una gran diferencia en los recursos humanos, el entorno competitivo, el desarrollo tecnológico, la construcción urbana, los precios de los productos básicos, los precios de la tierra y otros aspectos relativos a los medios de subsistencia de la población en las regiones mencionadas anteriormente. Al mismo tiempo, la economía de China se concentra principalmente en las regiones este y sur, mientras que las del oeste y el norte están relativamente atrasadas; al igual que la carga de electricidad de China también se concentra en las regiones del este y del sur, más desarrolladas económicamente en comparación con las otras regiones. En esta región con mayor densidad de población, el gobierno fijó una norma para el ahorro de energía en varias provincias del sur (2020), lo que muestra que China tiene un problema de suministro de energía en dicha zona y desequilibrio en la demanda. Sin embargo, la región menos desarrollada económicamente tiene mayores recursos de energía renovable

---

<sup>38</sup> "Prosperidad común" (inglés: prosperidad común) es el término político de la República Popular China, que se refiere a que todos los miembros de la sociedad vivan una vida material y cultural feliz, próspera y hermosa, y es el objetivo fundamental de la República Popular China desarrollando una economía de mercado socialista.

<sup>39</sup> [Según los datos y artículos del quinto censo nacional en 2000, y el artículo 'cada país tiene una línea "Hu Huanyong"'. [www.sohu.com](http://www.sohu.com). 2017-06 -17]

debido a condiciones naturales innatas, como la situación topográfica, la ubicación geográfica, las condiciones del soleamiento, la calidad del aire atmosférico, el viento, las nubes y otros recursos renovables. Las regiones más desarrolladas, donde hay una mayor densidad de población, la superficie de tierra libre que se puede desarrollar es limitada y su precio es más caro; sin embargo, las regiones del oeste y del norte, son más propicias y tienen mejores condiciones para el desarrollo energético sostenible a gran escala. Al igual que la energía sostenible, la energía fósil está más concentrada en las "Tres Regiones del Norte"<sup>40</sup>. El desequilibrio y la insuficiencia entre el oeste y el este es una característica del desarrollo de China.

El problema prominente es la distribución desequilibrada entre el este y oeste, donde en el oeste hay recursos energéticos y en el este hay una acumulación de carga eléctrica. Y eso se refleja en la relación desigual de demanda y oferta de energía en las áreas locales, un punto importante que China debe resolver cuando se enfrenta al objetivo de doble carbono (objetivo 3060). Por lo tanto, al mismo tiempo que aumenta la proporción de nueva energía, China necesita encontrar soluciones en términos de capacidad de distribución interregional de energía, flexibilidad y estabilidad del sistema eléctrico.

Ante tal desequilibrio energético y demanda de energía en las regiones central y oriental, muchos funcionarios del gobierno local creen que la única forma de resolver las necesidades energéticas es confiar en la práctica de larga duración de "transportar carbón del norte al sur" o "transmitir electricidad de oeste a este", ignorando la energía sostenible que la rodea, la cual podría ser aprovechada. Según la investigación realizada por algunos expertos, entre las fuentes de energía de la región de medio oriente, alrededor del 40 % de la demanda puede ser cubierta por sus propios recursos de energía renovable descentralizados. En segundo lugar, a lo largo de la costa, tenemos mucha energía nuclear para seguir desarrollando. El tercer punto es la energía eólica marina, que puede tener una cierta contribución. Estas tres fuentes de energía sostenible juntas pueden satisfacer alrededor del 70 % o el 80% de la demanda. El porcentaje restante se puede sufragar con energía hidroeléctrica en el suroeste y eólica y solar en el noroeste. De acuerdo con este plan, el centro y el este de China utilizarán los recursos renovables locales para resolver el problema del desequilibrio energético regional.

Henan, una provincia que solo utiliza carbón, tiene las características de uso de la energía tradicional en China, pero según la Investigación de la Revolución Energética de Henan, se descubrió que, en el futuro, la electricidad de Henan dependerá de la energía solar en un 30 %, la eólica en un 30 %, el carbón en un 20 % y, para el resto, más del 20 %; basándose en la "transmisión de energía de oeste a este". De esta forma, se resuelve el problema de la región de medio oriental.

---

<sup>40</sup> "Tres regiones del norte" se refiere a las tres regiones del noreste de China, el norte de China y el noroeste de China. El área específica es el noreste: provincia de Heilongjiang, Jilin, Liaoning. Norte de China: Beijing, Tianjin, Hebei, Shanxi, Mongolia Interior. Noroeste: provincia de Shaanxi, Gansu, Qinghai, región autónoma de Ningxia, región autónoma de Xinjiang.

La parte oeste de China es igualmente importante, no es solo una región que contribuye al desarrollo de otras regiones. Por supuesto, esta es una función clave: enviar energía y electricidad a la zona este. Además, la región oeste también debe desarrollar su propia economía y hacer un buen aprovechamiento de la electricidad producida por su propia ella misma. El oeste no solo es rico en energía fósil, sino también en recursos sostenibles como la energía solar, la eólica, la hidráulica, la biomasa, la geotérmica, etc. Entonces, ¿cómo pueden complementarse la economía de la región oeste y el desarrollo de energía sostenible?

Las industrias de alto consumo de energía en las regiones central y oriental están saturadas, y el crecimiento no se puede aumentar en exceso, pero algunas industrias de alto consumo de energía aún son necesarias para el estado y la sociedad, como el centro de 'big data'. China ha propuesto el plan *Números del Este y Cálculos en el Oeste*, lo que significa mover estos centros de datos del este al oeste, realizar los cálculos de 'big data' y desarrollar estas industrias intensivas de alto consumo de energía en el oeste. De esta manera, la economía del oeste también se ha desarrollado, utilizando la energía eólica y solar producida por sí misma. Por ejemplo, Guiyang es ahora el centro de computación de 'big data' de China, y también hay otros lugares como Qinghai y Xinjiang que tienen las mismas características. Por lo tanto, mientras desarrolla la economía en el oeste, hace un buen uso de sus propios recursos energéticos no fósiles, de los cuales una parte son destinados a abastecer al este y, en otra parte, para desarrollar su propia economía. China empieza a considerar que la parte oeste tiene una gran importancia en su contribución para la energía del país, por eso trata de aliviar el desequilibrio de desarrollo entre este y oeste, y quiere que se forme una relación complementaria ente ellos utilizando su propia energía y promoviendo su desarrollo económico.

Por lo tanto, la transición a la energía renovable brinda una nueva posibilidad o un nuevo camino para que el desarrollo económico regional de China sea más equilibrado en el futuro. Con la característica de la descentralización, la autora espera que, desde una electricidad descentralizada, se pueda llegar a un sistema de energía descentralizada y, finalmente, hasta la economía descentralizada.

El estado actual del desarrollo económico no está equilibrado en China. Es el resultado de economías de escala que han aplicado leyes económicas. Una zona, al estar más desarrollada desde un principio por diversos factores, genera más economías de escala; y dentro de esta existen muchos factores que aportan al crecimiento de la economía de escala hasta hacerla más grande (lo que hará que esta área sea cada vez más avanzada económicamente desde el principio hasta el final). Tal retroalimentación positiva se puede aplicar en cualquier lugar, y se concentra siempre en el mejor desarrollado, creando disparidades entre estos lugares. El propio modelo de desarrollo de la energía fósil juega un papel prioritario por su alta densidad energética. por eso cuenta con economías de escala, al ser transportada desde largas distancias y utilizadas a gran escala, aplicando las ventajas de la región más desarrollada. Pero cuando el modelo energético pasa de ser energía fósil a energías renovables debido a la descentralización de esta, crea un efecto inverso en la economía de escala. Es decir, el modelo de desarrollo de las energías renovables descentralizadas avanza hacia una economía descentralizada, lo que repercutirá en

cadena en la economía regional.

Además de atraer a las nuevas industrias con gran consumo energético, como los centros de datos, también lo hacen con las personas, para volver a su ciudad natal debido al desarrollo del transporte y los nuevos edificios con bajas emisiones de carbono. Al desarrollar la industria, la economía evoluciona, y se creará más demanda de personal, más oferta, creando un círculo virtuoso. En este caso, la economía del oeste tiene más puntos de apoyo que la sustentan. Debido a que la era de la energía fósil es una era de efectos agravantes y de retroalimentación positiva, no hay tantos puntos de apoyo económicos en el oeste. Sin embargo, cuando evoluciona la energía sostenible, la economía también mejora, por lo que es indispensable que la contribución del oeste sea cada vez mayor, tanto para el objetivo de la "prosperidad común", como en el circuito interno y su ciclo dual. Esto hará que su circuito interno gane puntos de apoyo más sólidos. Dicha evolución rompe el ciclo actual, que solo existe entre la zona central del país y el este, y también dentro del propio este. Por lo tanto, avanzar en la transición energética a una energía descentralizada en sí misma es una estrategia significativa y valiosa desde un punto de vista de alcance.

Du Xiangwan, miembro de la Academia China de Ingeniería y subdirector del Comité Asesor Nacional de Expertos en Energía, afirmó que existe un "triángulo imposible". Si un sistema de energía es seguro y confiable, económicamente factible, ecológico y de bajo carbono, entonces es casi imposible. Y espera que, a través de décadas de esfuerzos para promover el desarrollo energético de alta calidad, China pueda lograr el "triángulo posible" en el futuro.

**Figura 54.** Mapa de distribución de la población de China a finales de 2020 (unidad: diez mil personas).

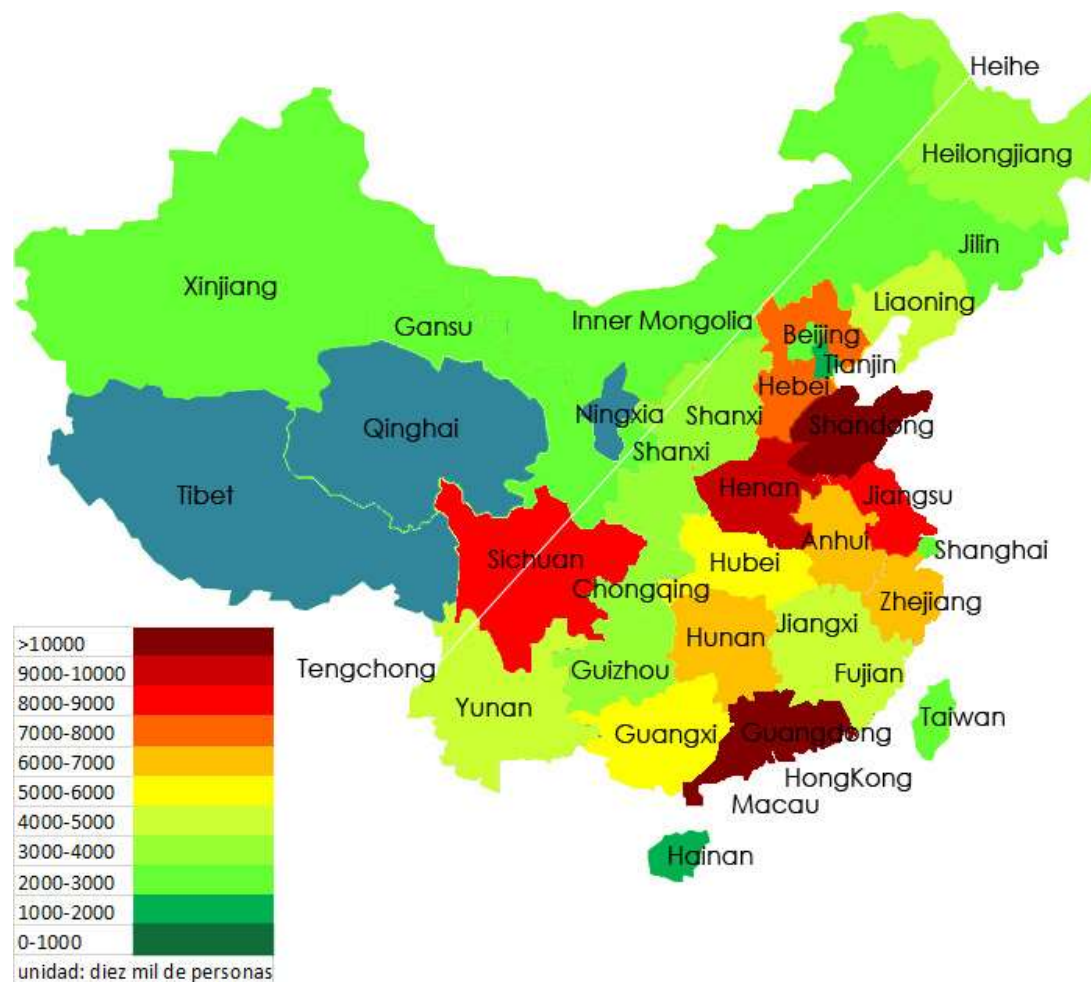
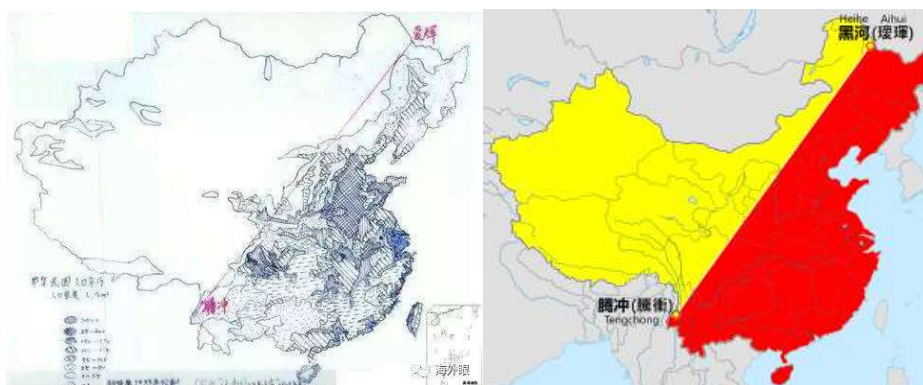


Imagen elaborada<sup>41</sup> por la autora. Los datos provienen del Anuario estadístico de China de 2022 publicado por la Oficina Nacional de Estadísticas de China.

<sup>41</sup> Programa utilizado: Photoshop.



**Figura 55 y 56.** Línea "Hu Huanyong<sup>42</sup>".



Las imágenes provienen de [Resultado que cada país tiene una línea "Hu Huanyong". www.sohu.com. y dj.cina.com.cn 2017-06-17].

**Figura 57.** Consumo de electricidad residencial por provincias en China en 2020 (Unidad: mil millones de kWh).

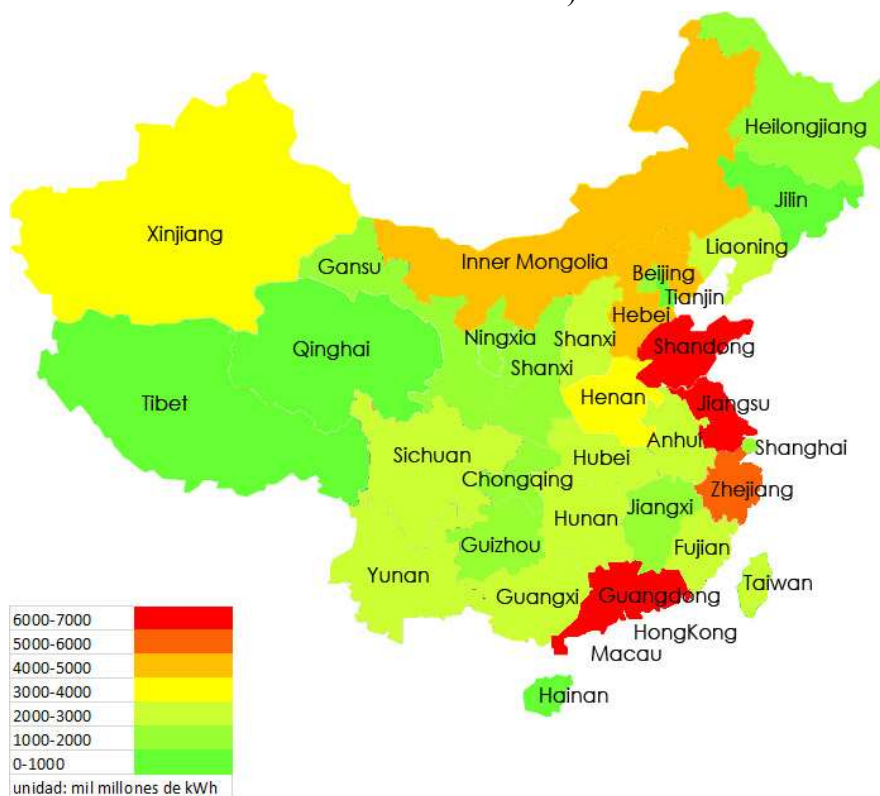
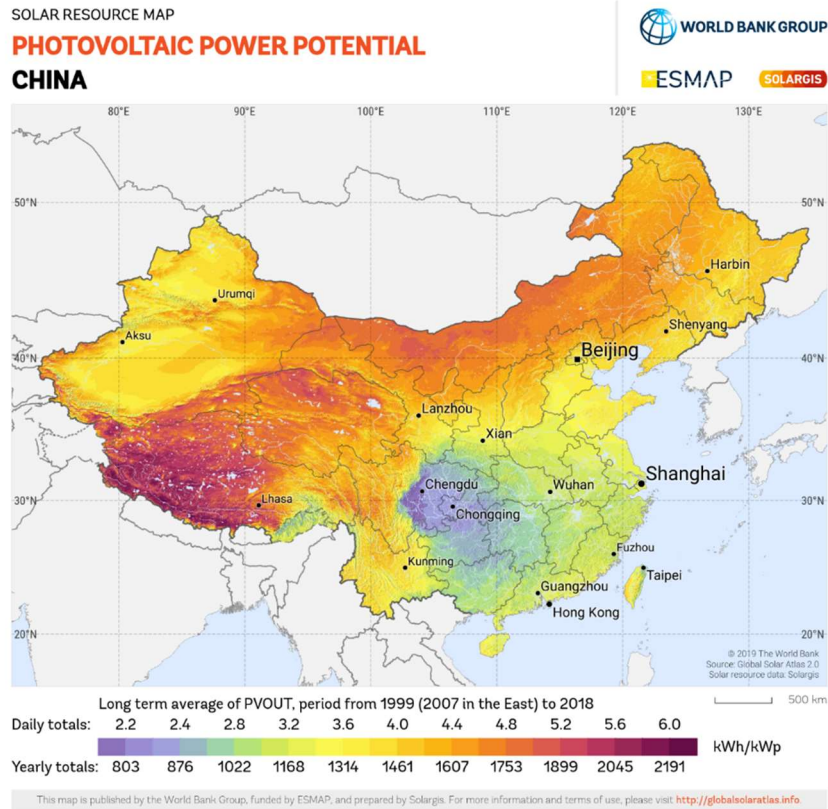


Imagen elaborada<sup>43</sup> por la autora. Los datos provienen del Anuario estadístico de China de 2022 publicado por la Oficina Nacional de Estadísticas de China.

<sup>42</sup> "Hu Huanyong Line" es una línea divisoria geográfica de 82 años de antigüedad. Es la línea divisoria de la distribución de la población de China trazada por Hu Huanyong, director del Departamento de Geografía de la Universidad Nacional Central en 1935, a través de decenas de miles de datos. En ese momento, la población total de China se estimó en 475 millones. Hu Huanyong usó un punto para representar a 20 000 personas, colocó más de 20 000 y luego dibujó este mapa de densidad de población con líneas de contorno.

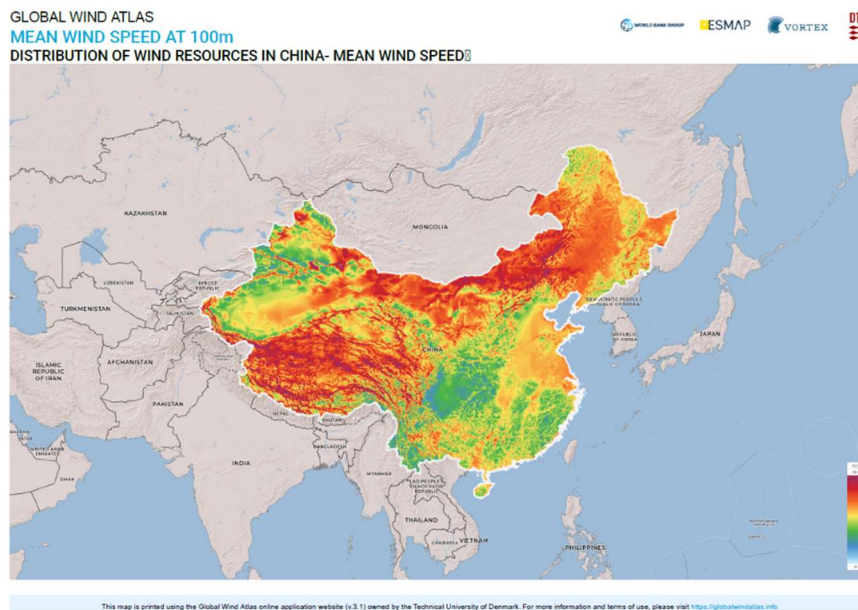
<sup>43</sup> Programa utilizado: Photoshop.

**Figura 58.** Potencial de energía fotovoltaica en China.



Este mapa se imprime utilizando la aplicación Global Solar Atlas v2.7 lanzado en junio de 2022 propiedad del Grupo del banco mundial y preparada por Solargis. <https://www.esmap.org/>.

**Figura 59.** Distribución de recursos eólicos en China.



Este mapa se imprime utilizando la aplicación Global Wind Atlas (v.3.1) propiedad de la Universidad Técnica de Dinamarca. <https://globalwindatlas.info>

## 5.5 PV en China

China se enfrenta al desafío de la distribución desequilibrada de la energía. La zona central y la del este del país son los lugares de mayor fuerza económica del país, y también son los que tienen una mayor carga energética. Sin embargo, tanto la energía fósil como la energía sostenible, están más concentradas en las "Tres Regiones del Norte". El desequilibrio energético y económico entre el oeste y el este es una característica de la situación nacional de China. Ante este dilema, las energías renovables ofrecen una nueva posibilidad para equilibrar las economías regionales. De una serie de políticas relacionadas con esto, se puede inferir que, entre las muchas fuentes de energía renovable, la energía solar y la eólica ocuparán la posición dominante en el desarrollo de las energías en el futuro. A finales de mayo de 2022, la capacidad instalada de generación de energía solar es de 330 millones de kilovatios, aproximadamente, y la eólica es de 340 millones de kilovatios<sup>44</sup>, según el decreto "Perspectivas del desarrollo fotovoltaico de China para 2050" publicado por el Instituto de Investigación Energética de la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma en 2019, y el "Aviso sobre la presentación del programa piloto para el desarrollo fotovoltaico distribuido en la cubierta en todo el municipio (ciudad, distrito)", emitido por la Administración Nacional de Energía el día 20 de junio de 2021. La normativa aplicada por varias provincias como Zhejiang, Guangdong, Jiangsu, etc., es el "plan de trabajo piloto para promover el desarrollo a gran escala de energía fotovoltaica descentralizada en todo el condado (ciudad, distrito)", el 28 de junio de 2021. No es difícil predecir que la industria fotovoltaica se convertirá en una parte importante de la energía sostenible de China, bajo la vigorosa defensa a todos los niveles; desde las autoridades centrales hasta las locales.

### 5.5.1 Fuentes de datos fotovoltaicos de China

#### 5.5.1.1 Literatura

Los artículos y documentos fueron obtenidos, principalmente, en los siguientes dos canales:

(1) Literatura en lenguaje chino:

-La Infraestructura Nacional de Conocimiento de China (*China National Knowledge Infrastructure-CNKI*).

Se usó la plataforma anteriormente mencionada como base de datos de búsqueda, con las palabras clave: "分布式光伏 (fotovoltaica descentralizada)" y "中国 (China)". Al mismo tiempo, para garantizar que los datos originales sean actuales, he marcado la opción de "tiempo de publicación del documento", limitado a "2019-2022", para obtener revistas relevantes y documentos de conferencias que restringen el desarrollo de la energía fotovoltaica descentralizada en el país.

---

<sup>44</sup> Fuente: *The People's Daily Overseas Edition*, publicado por el Gobierno Popular Central de China el 18 de junio de 2022.

(2) Literatura en inglés:

- JCR -Journal Citation Report.
- Scopus.
- WOS.

Son las tres bases de datos de búsqueda, con "PV" y "China" como palabra clave, y el tiempo de publicación limitado a "2019-2022". Para mejorar la eficiencia de obtener información relevante, el alcance de la revista se limita a "Energía", "Energía renovable", "Política energética", "Energía y construcción", "Investigación energética y ciencias sociales", como factores de impacto más altos para encontrar los artículos y documentos relacionados con este estudio. Finalmente, a través de una selección adicional, solo quedó la literatura relacionada con la energía renovable en China y que involucraba factores influyentes, ventajas, desventajas, políticas y fotovoltaicos descentralizados.

### 5.5.1.2 Informe de investigación

Los informes de investigación relevantes sobre la industria fotovoltaica se obtuvieron, principalmente, a través de los siguientes canales:

- (1) Informes de mercado: en Wind, Flush y otras plataformas, o, directamente, a través de navegadores webs, usando "fotovoltaica" o "energía" como palabras clave.
- (2) Informes de instituciones relacionadas con la energía fotovoltaica: el *Informe anual 2020-2021 sobre el desarrollo fotovoltaico de China*, publicado en el sitio web oficial de la Asociación de la Industria Fotovoltaica de China.
- (3) Plataforma de recopilación de informes de investigación: Dydata (<https://www.dydata.io/>), Research Reporter (<https://www.yanbaoke.com/index>) y otras plataformas de agregación de informes de investigación de sitios web y plataformas de cuentas públicas de WeChat.

### 5.5.1.3 Información de la página web

Las principales formas de obtener información de la página web son las siguientes:

- (1) A través de navegadores de búsqueda como Baidu, Google, Sogou, Bing, etc. Búsqueda con diferentes combinaciones de palabras clave como "fotovoltaica descentralizada", "energía renovable", "China", "influencia", "factores", etc., para obtener comentarios, entrevistas, y noticias relacionadas con el desarrollo fotovoltaico descentralizado en el país.
- (2) A través del Consejo del Estado<sup>45</sup>, el Instituto de Investigación Energética de la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma<sup>46</sup>, la Administración Nacional de Energía<sup>47</sup>, el Centro Nacional de Energía Renovable<sup>48</sup>, el Ministerio de Finanzas<sup>49</sup>, la página web de Fotovoltaica

---

<sup>45</sup> Fuente: <http://www.gov.cn>

<sup>46</sup> Fuente: <http://www.cctp.org.cn>

<sup>47</sup> Fuente: <http://www.nea.gov.cn>

<sup>48</sup> Fuente: <http://www.nea.gov.cn/sjzz/xny/index.htm>

<sup>49</sup> Fuente: <http://www.mof.gov.cn>




de China<sup>50</sup>, La Asociación de la Industria Fotovoltaica de China<sup>51</sup>, la página web de la Información de la Industria de China<sup>52</sup> y otros sitios web de autoridad estatal, buscando información relacionada con el desarrollo fotovoltaico descentralizado.

(3) Obtener información relevante a través de cuentas públicas de WeChat que comparten información fotovoltaica como Zhihui Photovoltaic y Polaris Solar Photovoltaic Network.

## 5.5.2 Política fotovoltaica de China

### 5.5.2.1 Modelo de integración de la industria PV + “” y políticas de apoyo

**Tabla 5. Modelo de integración de la industria PV + “” y políticas de apoyo.**

Campo	Política de apoyo	Entidad de publicación de políticas	Fecha	Ejemplo	Enlace
Fotovoltaica + Industria	Aviso sobre la Promoción de la Neutralización de Carbono en el Parque Nacional Piloto Eco-Industrial.	Publicado por el Ministerio de Ecología y Medio Ambiente.	01/09/2021		<a href="https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/sthjbs/202109/t20210901_884575.html">https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/sthjbs/202109/t20210901_884575.html</a>
	14° Plan Quinquenal – Plan de Desarrollo Industrial Verde	Publicado por el Ministerio de Industria y Tecnologías de la Información.	03/12/2021		<a href="http://www.gov.cn/zhengce/zhengcek/2021-12/03/5655701/fil.es/4c8e11241e1046ee9159ab7dead9ed44.pdf">http://www.gov.cn/zhengce/zhengcek/2021-12/03/5655701/fil.es/4c8e11241e1046ee9159ab7dead9ed44.pdf</a>
Fotovoltaica + Agricultura y Medio Rural	Sugerencias de implementación sobre la aceleración de la transformación y el desarrollo de la energía rural para ayudar a la revitalización rural	Publicado conjuntamente por la Administración Nacional de Energía, el Ministerio de Agricultura y Asuntos Rurales y la Oficina Nacional de Desarrollo Rural.	07/01/2022		<a href="http://www.gov.cn/zhengce/zhengcku/2022-01/07/content_5666809.htm">http://www.gov.cn/zhengce/zhengcku/2022-01/07/content_5666809.htm</a>
Fotovoltaica + Transporte	14° Plan Quinquenal para el Desarrollo del Sistema Integral de Transporte Moderno.	Emitido por el Consejo de Estado	18/01/2022		<a href="http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm">http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm</a>
Fotovoltaica +	Plan de acción para la	Emitido conjuntamente por el	24/07/2020		<a href="http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-07/24/content_5669049.htm">http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-07/24/content_5669049.htm</a>

<sup>50</sup> Fuente: <http://xgf.cnelc.com/>

<sup>51</sup> Fuente: <http://chinapv.org.cn>

<sup>52</sup> Fuente: <https://www.chyxx.com/>

Arquitectura	creación de edificios ecológicos.	Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma, el Ministerio de Educación, el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información, el Banco Popular de China, la Administración Estatal de Impuestos, Comisión Reguladora de Banca y Seguros de China, y en total 7 departamentos.		v.cn/zhengce/zhengceku/2020-07/24/content_5529745.htm	
	Varias sugerencias sobre la aceleración de la industrialización de nuevas tipologías de edificación.	Emitido conjuntamente por el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural, el Ministerio de Educación, el Ministerio de Ciencia y Tecnología, el Ministerio de Industria y Tecnologías de la Información, el Ministerio de Recursos Naturales, el Ministerio de Ecología y Medio Ambiente, el Banco Popular de China, la Administración Estatal de la Regulación del Mercado, la Comisión Reguladora de Seguros y Banca de China y en total 9 departamentos.	04/09/2020	http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-09/04/content_5540357.htm	
Fotovoltaica + Comunicación	Sugerencias de orientación sobre el fortalecimiento de la construcción de centros de datos ecológicos.	Emitido conjuntamente por el Ministerio de Industria y Tecnologías de la Información, la Administración de Asuntos de Órganos del Estado y la Administración Nacional de Energía.	14/02/2019		http://www.gov.cn/xinwen/2019-02/14/content_5365516.htm

**Tabla 6. El entorno financiero para el desarrollo de la industria fotovoltaica**

Campo	Política de apoyo	Unidad de publicación de políticas	Fecha	Contenido principal	Enlace
Política financiera	Plan de acción para alcanzar el objetivo de doble carbono para 2030.	Consejo del Estado de China.	26/10/2021	Se señala que se deben desarrollar vigorosamente instrumentos financieros: préstamos verdes, acciones verdes, bonos verdes, seguros verdes y fondos verdes. Establecer herramientas de apoyo a la reducción de emisiones de carbono,	http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm

				guiar a las instituciones financieras para que proporcionen fondos de bajo coste y, a largo plazo, para proyectos ecológicos bajos en carbono; y alentar a las instituciones financieras de políticas de desarrollo a que brinden apoyo financiero estable y a largo plazo para el plan de reducción de emisiones de carbono, de conformidad con el principios de mercantilización y estado de derecho.	
	Aviso sobre cómo orientar un mayor apoyo financiero para promover el desarrollo saludable y ordenado de la generación de energía eólica y fotovoltaica, y otras industrias.	Publicado conjuntamente por 5 departamentos, incluida la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma	30/03/2021	Se han establecido medidas para que las instituciones financieras negocien con empresas de energía renovable para otorgar o renovar préstamos de acuerdo con el principio de comercialización, y para que las instituciones financieras emitan subsidios y confirmen préstamos de manera independiente de acuerdo con los principios de mercantilización y el estado de derecho.	<a href="http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/44687/45175/xgzc45181/Document/1701225/1701225.htm">http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/44687/45175/xgzc45181/Document/1701225/1701225.htm</a>
	Aviso sobre seguir la misma línea en el Programa Piloto de REIT (fondos de inversión de valores de infraestructura de oferta pública del país) en el Sector de Infraestructura.	la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma	29/06/2021	Se aclaró el alcance de la declaración de infraestructura energética. Por primera vez en China, se propone que los proyectos de energía limpia, como la fotovoltaica y la energía eólica, puedan declararse como REIT (fondos de inversión de valores de infraestructura de oferta pública del país).	<a href="http://www.gov.cn/xinwen/2021-07/08/content_5623361.htm">http://www.gov.cn/xinwen/2021-07/08/content_5623361.htm</a>
Medios financieros	Lanzó una Herramienta de Apoyo a la Reducción de	Banco Popular de China	08/11/2021	Proporcionar fondos a las instituciones financieras a través de un mecanismo directo de "préstamo primero y luego re-préstamo" <sup>53</sup> , y usar fondos	<a href="http://www.gov.cn/xinwen/2021-11/08/content_5649848.htm">http://www.gov.cn/xinwen/2021-11/08/content_5649848.htm</a>

<sup>53</sup> Los re-préstamos son los fondos prestados por el banco central a los bancos comerciales y luego prestados por los bancos comerciales a los clientes ordinarios. Como los fondos proporcionados por el re-préstamo son estables, de bajo coste y a largo plazo, no solo puede reducir el coste de capital de las empresas en industrias relacionadas, sino también diversificar los riesgos asumidos por los bancos; estimulando así el entusiasmo de los bancos para servir a las empresas. Por otro lado, el modelo de "préstamo primero y luego re-préstamo", significa que los bancos comerciales primero emiten préstamos a empresas que cumplen con

<p>Carbono, que es una herramienta de política monetaria estructural.</p>			<p>incrementales para apoyar la inversión y la construcción en áreas clave como la energía limpia, aumentando así la capacidad general del suministro de energía. Las instituciones financieras deben proporcionar financiación de acuerdo con los principios de la mercantilización y el estado de derecho. Apoyar y ayudar a la seguridad y al suministro energético del país y la transformación verde y baja en carbono.</p>	
<p>14° Plan Quinquenal para el Desarrollo de las Energías Renovables.</p>	<p>Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma, la Administración Nacional de Energía y en total de 9 departamentos emitieron conjuntamente.</p>	<p>01/06/2022</p>	<p>La construcción de bases fotovoltaicas a gran escala se considerará como una medida importante para promover el desarrollo a gran escala de las energías renovables en el 14° Plan Quinquenal, y así apoyar a la implementación de los objetivos de planificación.</p>	<p><a href="https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202206/t20220601_1326720.html?code=&amp;state=123">https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202206/t20220601_1326720.html?code=&amp;state=123</a></p>

### 5.5.2.2 Resumen de la política del gobierno central

Al investigar las políticas regulatorias del gobierno central para promover el desarrollo de la industria fotovoltaica, nos encontramos que las políticas regulatorias que apoyaron el desarrollo de la industria fotovoltaica en el país en los últimos años se reflejan principalmente en los siguientes aspectos:

1. **El apoyo financiero.** La Comisión Reguladora Bancaria y el Banco de Desarrollo de China, junto con otros ministerios y comisiones, han emitido sucesivamente políticas de apoyo financiero para apoyar el desarrollo saludable de la industria fotovoltaica. La razón principal es fortalecer el apoyo financiero para las empresas fotovoltaicas, y, al mismo tiempo, llevar a cabo una gestión jerárquica y un trato diferenciado de las empresas de fabricación fotovoltaica, asegurando los riesgos crediticios.

---

el alcance del uso del re-préstamo, y luego solicitan al Banco Popular de China fondos de re-préstamo basados en la lista de versiones y otros materiales.



2. **La desgravación fiscal.** El Ministerio de Hacienda y la Administración Tributaria del Estado han emitido una serie de políticas preferenciales para reducir y eximir el impuesto al valor agregado y el impuesto a la renta para la industria fotovoltaica. Así se consigue reducir la carga fiscal de las empresas de fabricación de elementos fotovoltaicos y las empresas de generación de energía fotovoltaica.
3. **Establecer normas para la industria.** El Ministerio de Industria y Tecnologías de la Información, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma, la Administración Nacional de Energía y la Administración Nacional de Certificación y Acreditación han propuesto políticas y medidas para promover el desarrollo estandarizado de la industria fotovoltaica desde la perspectiva de acceso industrial, estandarización de técnicas y escala de construcción.
4. **Marcar limitaciones para la capacidad de producción.** Para frenar el crecimiento excesivo y la competencia despiadada de la capacidad de fabricación fotovoltaica, la Administración Nacional de Energía, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma, el Ministerio de Protección Ambiental, el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información y otros ministerios y comisiones, también han propuesto medidas para limitar la capacidad de producción de la industria fotovoltaica. Restricciones relacionadas con la capacidad de desarrollo de la industria fotovoltaica; desde perspectivas de protección ambiental, calidad del producto, producción segura, etc.

#### 5.5.2.3 Comparación de las políticas de la industria fotovoltaica del gobierno central y del gobierno local

En cuanto a las políticas de la industria fotovoltaica, tanto el gobierno central como el local han emitido una serie de políticas reguladoras, pero existen diferencias significativas entre el gobierno central y el local a la hora de apoyar y regular el desarrollo de esta industria.

En primer lugar, los objetivos son diferentes. El propósito de las políticas del gobierno central es regular el desarrollo de la industria fotovoltaica y prevenir la capacidad excesiva de producción general de esta. Sin embargo, además de promover el desarrollo saludable de la industria fotovoltaica, las políticas del gobierno local tienen otra razón importante: mejorar el nivel de atractivo local a las empresas fotovoltaicas, fomentando así la competitividad de la esta industria en la región.

En segundo lugar, los medios de apoyo son diferentes. Las políticas emitidas por el gobierno central para apoyar el desarrollo de la industria fotovoltaica son todas relacionadas con el apoyo financiero, como la reducción y la exención de impuestos. Al mismo tiempo, regulan el desarrollo de la industria fotovoltaica a través de medios de protección ambiental, calidad, seguridad, consumo de energía, etc. Mientras que las políticas emitidas por el gobierno local son más prácticas. Además de implementar las políticas del gobierno central sobre desgravación fiscal y apoyo crediticio para el desarrollo de la industria fotovoltaica, también compensa directamente a las empresas fotovoltaicas a través de devoluciones de impuestos,

subsidios financieros y suministro de tierra.

En tercer lugar, el efecto es diferente. Las políticas de apoyo y regulación del gobierno central han promovido el sano desarrollo de la industria fotovoltaica en términos de protección ambiental, calidad y tecnología, y aliviado de manera efectiva el problema de la sobrecapacidad. Sin embargo, las políticas de los gobiernos locales son, en gran medida, políticas de apoyo. Pueden promover, efectivamente, la expansión de la capacidad de la industria fotovoltaica en la región.

En términos de políticas, los investigadores nacionales creen que existen problemas de implementación insuficiente en el desarrollo actual de la energía fotovoltaica descentralizada, como escasos fondos recaudados por las tarifas de energía renovable [15], indicadores de construcción cada vez más reducidos en el proceso de implementación de políticas [16] o falta de supervisión y otros factores [17]. La política en sí también tiene problemas como el desfase del tiempo central respecto al local [18], el tipo único (sin variedad de tipología) [19], la imprevisibilidad [20] y la débil orientación [21–22], etc.

### 5.5.3 Estado de desarrollo de la energía fotovoltaica en China

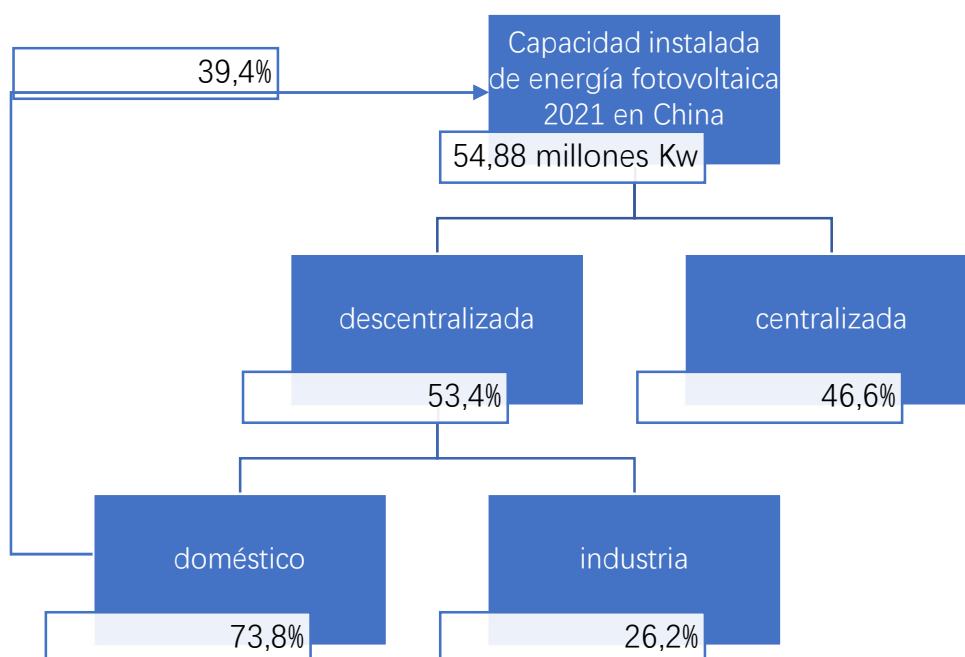
La generación de energía solar se divide entre la generación de energía fototérmica y la de energía fotovoltaica. La generación de energía fototérmica se refiere a la concentración de luz a través de un conjunto de espejos a gran escala, calentando el soluto de sal y luego impulsando la turbina de vapor para generar electricidad mediante un dispositivo de intercambio de calor. La generación de energía fotovoltaica, por otro lado, se refiere al uso de módulos solares fotovoltaicos para absorber fotoelectrones y generar directamente una diferencia de potencial. Una vez conectados los electrodos positivo y negativo, se forma corriente continua, que posteriormente se convierte en corriente alterna a través de equipos electrónicos de potencia.

La generación de energía fotovoltaica en China se puede dividir:

1. Según la ubicación de la instalación: energía fotovoltaica de suelo, de techo, de superficie de agua y de montaña.
2. Según la escala: hay fotovoltaica centralizada, descentralizada y doméstica.

En China, la generación de energía fotovoltaica estuvo inicialmente dominada por la energía descentralizada a pequeña escala. En 2015, se convirtió rápidamente en energía centralizada a gran escala, y, en 2021, la situación volvió a invertirse, cuando la capacidad fotovoltaica de nueva instalación llegó a los 54,88 millones de kW, alcanzando los 282 millones de kW en total, un aumento interanual del 13,9 %. Entre ellos, la capacidad instalada de energía fotovoltaica descentralizada es de 29,28 GW, lo que representa el 53,4 % de la capacidad total de la nueva instalación en ese año, y la energía fotovoltaica centralizada a gran escala representa el 46,6 %. La energía fotovoltaica doméstica, por su parte, representa el 73,8 % del mercado descentralizado, el 39,4 % del conjunto de la energía recién instalada en 2021.

## Composición de la generación de energía fotovoltaica 2021 en China



En ese año, las instalaciones centralizadas han sido inferiores a lo esperado debido al aumento de los precios de la cadena industrial. Con los proyectos de construcción de la base eólica y solar a gran escala, se espera que, para el año 2022, las centrales eléctricas vuelvan a superar a las descentralizadas. En el mercado descentralizado, la promoción de instalación es para todo el municipio, por lo que otras construcciones fotovoltaicas comerciales y domésticas continuarán apoyando el mercado de generación de energía fotovoltaica descentralizada. Aunque el porcentaje de dicha energía, en comparación con la centralizada, va a disminuir, la capacidad de instalación total seguirá mostrando una tendencia al alza. Durante el período del 14° Plan Quinquenal, tanto la energía centralizada como la descentralizada formarán una alianza para desarrollarse conjuntamente. A medida que la generación de energía fotovoltaica entre de lleno con un precio competitivo, así como la promoción del objetivo de "neutralización del carbono" y el modelo de desarrollo de grandes bases, es probable que las plantas de energía fotovoltaica centralizada marquen el comienzo de una nueva etapa de auge y desarrollo. Además, con la integración y el crecimiento de la energía fotovoltaica en la construcción, transporte y otros campos (como en la política de promoción de la instalación en todo el municipio), los proyectos descentralizados seguirán manteniendo una cierta cuota de mercado.

**Figura 60.** Desarrollo de instalación de energía fotovoltaica en China (2011-2021) Unidad: GW.

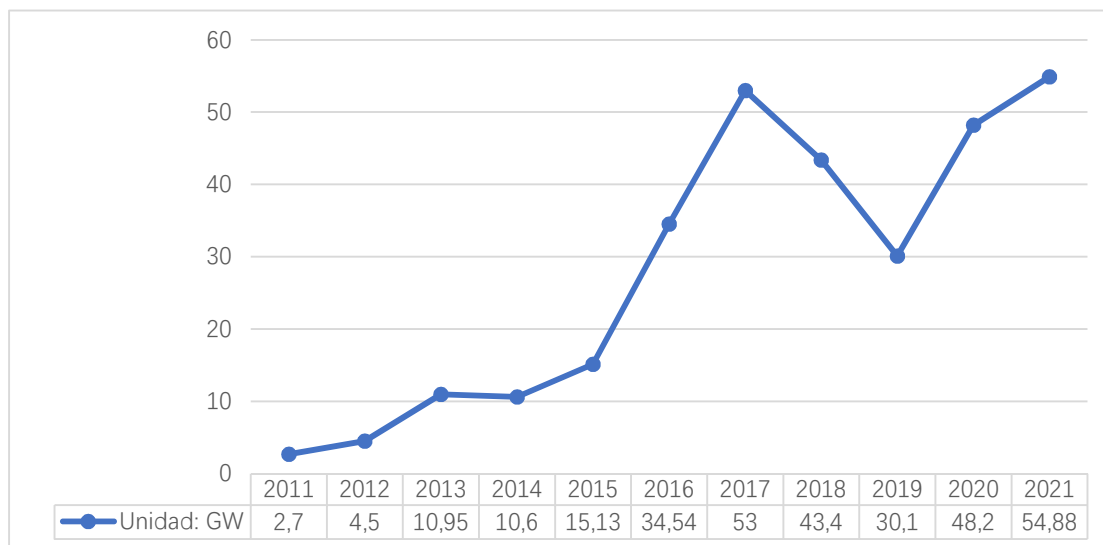


Imagen elaborada<sup>54</sup> por la autora. Los datos provienen del Informe anual 2020-2021 sobre el desarrollo fotovoltaico de China, de la Asociación PV sobre la nueva capacidad de instalación anual de fotovoltaicos domésticos de 2011 a 2021 y el pronóstico (unidad: GW).

**Figura 61.** Tendencias del mercado de diferentes tipos de aplicaciones fotovoltaicas de 2021 a 2030 (porcentaje).

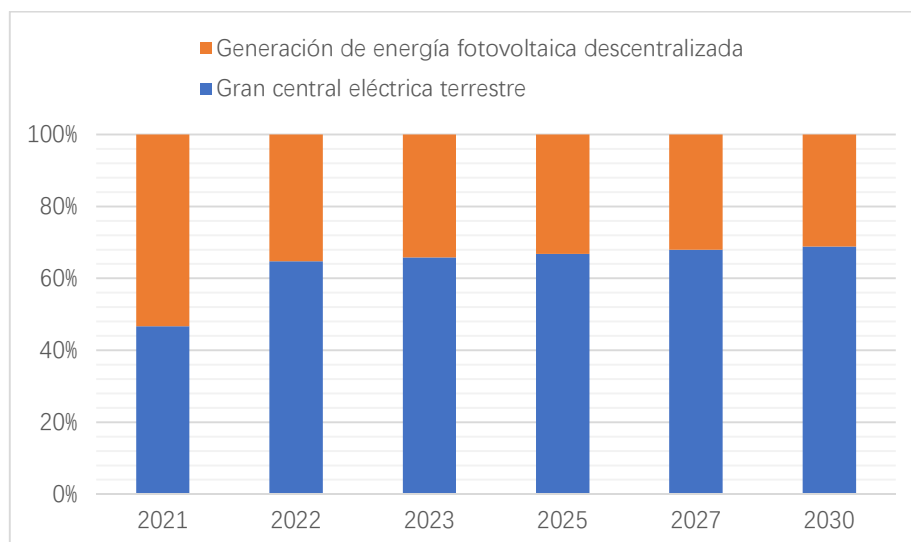


Imagen elaborada<sup>55</sup> por la autora. Los datos provienen del Informe anual 2020-2021 sobre el desarrollo fotovoltaico de China, de la asociación fotovoltaica sobre las tendencias del mercado de diferentes tipos de aplicaciones fotovoltaicas (central y distribuida) de 2021 a 2030.

La imagen de arriba es la predicción hecha por la Asociación Fotovoltaica en el "Informe Anual 2020-2021

<sup>54</sup> Programa Excel

<sup>55</sup> Programa Excel

sobre el Desarrollo Fotovoltaico de China, sobre las tendencias de mercado de diferentes tipos de aplicaciones (central y descentralizada) fotovoltaicas de 2021 a 2030.

#### 5.5.4 Modelo de proyecto de generación de energía fotovoltaica descentralizada de China

Los modelos de operación de los proyectos de generación de energía fotovoltaica descentralizada en la cubierta se pueden dividir en cuatro categorías:

- (1) Instalación eléctrica de construcción propia: toda la generación de energía está conectada a la red pública.
- (2) Autoconstrucción y uso propio: la electricidad restante está conectada a la red pública.
- (3) Gestión de energía por contrato: toda la generación de energía está conectada a la red eléctrica.
- (4) Gestión de energía por contrato: la electricidad restante está conectada a red pública.

Entre ellos, las dos primeras categorías pertenecen a la modalidad de autoconstrucción, y las dos últimas pertenecen a la modalidad de gestión energética por contrato. El modelo comercial (4) de "gestión de energía por contrato, electricidad excedente a la red" se traduce en que, durante el período del contrato, la empresa contratista recauda fondos para construir un proyecto de generación de energía fotovoltaica en la cubierta, y esta empresa cooperativa posee la propiedad del proyecto y comparte una parte de los ingresos por ahorro de energía a través de aplicar un descuento en los cargos de electricidad al consumidor. Después de que expire el contrato, la propiedad del proyecto se transferirá al usuario de energía de forma gratuita. A continuación, se muestra la fórmula de cómo se calcula el ingreso neto del consumidor al optar por el método (4): Gestión de energía por contrato.

$$\mathbf{In=Iep+Imd+Ird=Pe*Ccp+Pm*Ccd+Pc*Crd}$$

**In:** ingreso neto del consumidor.

**Iep:** ingreso por tarifa especial de electricidad durante el período del contrato.

**Imd:** ingreso por ahorro de electricidad después de que termine el contrato.

**Ird:** ingreso por venta de electricidad al estado después de que expire el período del contrato.

**Pe:** precio especial de la electricidad acordado con la empresa contratante.

**Pm:** precio de mercado de red estatal.

**Pc:** precio unitario de electricidad de compra de red estatal.

**Ccp:** consumo de electricidad del consumidor durante el período del contrato.

**Ccd:** consumo de electricidad por uso de energía después de que expire el contrato.

**Crd:** cantidad de electricidad suministrada a la red después de que expire el contrato.

La transición de roles de consumidores a prosumidores, hace que el gasto del consumidor haya evolucionado de pagar facturas de electricidad en función del consumo a prosumidores, que deben pagar por adelantado la inversión de costes de la infraestructura de la generación de energía fotovoltaica. Por lo tanto, para los prosumidores, el coste de inversión de los proyectos de generación de energía fotovoltaica es grande y el período de recuperación de la inversión es

largo. A mi modo de ver, es más factible utilizar el modelo (4) de gestión de energía por contrato para ejecutar el sistema de generación de energía fotovoltaica en la cubierta.

La razón es que el proyecto es invertido y construido por la empresa cooperativa, y el prosumidor o empresa usuaria de energía no necesita invertir capital, por lo que, para esta, su tasa de retorno de la inversión y la tasa interna de retorno tienden a ser infinitas. Pero, al mismo tiempo, el período de contrato entre empresas relacionadas y usuarios es más largo. Durante este transcurso, ocurren muchos factores de fuerza mayor, aumentando sus propios riesgos; como desastres naturales o provocados por el hombre. Por lo tanto, el riesgo de las empresas cooperativas de gestión de energía por contrato debe estudiarse más a fondo.

En el artículo de análisis de decisiones de inversión de proyectos de generación de energía fotovoltaica descentralizada escrito por Wang Yue. *Henan Yongwei Security Company* fue mencionada como el mayor fabricante de paneles decorativos de alto voltaje en Asia con 31 líneas de producción. La compañía opera bajo la investigación y el desarrollo, la producción y la venta de materiales ignífugos y productos a prueba de balas. Una empresa de gestión de energía por contrato que tiene 10,22 años para recuperar la inversión inicial, cuenta con un valor actual neto (VAN) de 112 230 108 500 yuanes y la tasa interna de retorno es del 7,7 %.

Además de los cuatro modos operativos mencionados anteriormente de proyectos de generación de energía fotovoltaica descentralizada en azotea, existe un nuevo modelo para la comunidad energética, el propuesto por el académico Zhang Hong, en su artículo<sup>56</sup> *Distributed Optimal Scheduling of Distribution Network Producers and Consumers for Energy Community Energy Management\_Zhang Hong 2021*. Se trata de un mecanismo interactivo para resolver el problema de la distribución de energía dentro de la comunidad energética. Antes de fusionarse con la red eléctrica pública, crear un algoritmo más eficiente que absorba energía dentro de la comunidad, asegurando el suministro de energía y mejorando la seguridad de la red eléctrica pública. Este tipo de mecanismo de interacción dentro de la comunidad es más común en Europa, mientras que en China se encuentra solo en la etapa de investigación y exploración teórica. Se trata de la conclusión que la autora buscaba al principio del capítulo.

### 5.5.5 Desarrollo de la energía fotovoltaica en varias regiones de China

#### 5.5.5.1 Casos de generación de energía fotovoltaica descentralizada

En 2019, el Instituto de Investigación de Energía de la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma publicó la perspectiva de desarrollo fotovoltaico de China para 2050. El 20 de junio de 2021, la Administración Nacional de Energía<sup>57</sup> emitió el "Aviso sobre la presentación del programa piloto para el desarrollo fotovoltaico distribuido en la cubierta en todo el municipio (comunidad autónoma, ciudad)", presentando requisitos específicos del informe piloto a las

---

<sup>56</sup> *Distributed Optimal Scheduling of Distribution Network Producers and Consumers for Energy Community Energy Management\_Zhang Hong 2021*.

<sup>57</sup> Fuente: <http://www.nea.gov.cn/>

oficinas de energía de todas las provincias: la Comisión de Desarrollo y Reforma del Cuerpo de Producción y Construcción de Xinjiang, provincias relevantes (regiones autónomas, municipios bajo el gobierno central), y agencias como *State Grid*, *China Southern Power Grid* o *Inner Mongolia Electric Power Company*. Este aviso señaló que el país posee abundantes azoteas de edificios como recursos básicos para la instalación de PV y ampliamente distribuidos, lo que implica un gran potencial de desarrollo para la construcción de energía fotovoltaica distribuida en las azoteas. Tan pronto como salió esta noticia, los techos de miles de hogares se convirtieron en un negocio exitoso. Instalar energía fotovoltaica en las azoteas abre nuevas oportunidades de negocio y podría abrir un nuevo camino hacia la era baja en carbono.

El 28 de junio de 2021, de acuerdo con los requisitos de implementación de la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma y la Administración Nacional de Energía, la provincia de Zhejiang publicó el "plan de trabajo piloto para promover el desarrollo a gran escala de la energía fotovoltaica descentralizada en todo el municipio", de la provincia de Zhejiang. Para acelerar el desarrollo de la generación de energía fotovoltaica descentralizada y aprovechar al máximo la nueva energía para garantizar el suministro de energía de toda la provincia.

- **Caso de la ciudad de Tongxiang**

La ciudad de Tongxiang, como una de las primeras áreas de desarrollo de generación de energía fotovoltaica distribuida en la provincia de Zhejiang, tomó medidas de inmediato y propuso una estrategia de instalación de todos los lugares donde se permita la instalación para promover la generación de energía fotovoltaica distribuida en toda la ciudad.

Según las estadísticas de la Oficina de Desarrollo y Reforma de la ciudad de Tongxiang, a finales de junio de 2021, los agricultores de la ciudad han instalado un total de 78 000 kilovatios de energía fotovoltaica descentralizada, que representa el 19,9 % de la capacidad instalada de energía fotovoltaica descentralizada en la ciudad de Tongxiang. La mayoría son usuarios de empresas industriales y comerciales, representando el 80,1 %.

- **Caso de la compañía Zhejiang Xinao Co., Ltd**

Fue una de las primeras empresas en probar la energía fotovoltaica en 2014. El coste de energía se redujo en 3,5 millones de yuanes desde la instalación hasta el año 2021. De 2015 a 2021, ha generado 33 millones de kWh de energía, equivalente a 10 000 toneladas de carbón estándar. Es decir, en los últimos años, ha reducido las emisiones de dióxido de carbono en más de 26 000 toneladas, según Hua Xinzhong, gerente general de la empresa.

- **Caso de la compañía Zhejiang Lamborghini Weaving Co., Ltd**

Del mismo modo, Zhejiang Lamborghini Weaving Co., Ltd. también tomó la iniciativa de usar PV. La ciudad donde está ubicada es la base de la industria nacional de suéteres de lana, y su producción representa el 70 % del suéter de lana de todo el país. La empresa decidió instalar más de 8000 metros cuadrados de paneles fotovoltaicos en la cubierta de la nueva planta, que proporciona alrededor del 30 % del consumo eléctrico total de la planta.

- **Caso de Taihuyuan**

Taihuyuan es una de las ciudades más famosas en lo referido a paneles fotovoltaicos,

tanto por construcción como por generación de electricidad en 2016.  
(Consulte el apéndice A.2.1 para conocer los detalles de los ejemplos y casos).

### 5.5.5.2 Casos de generación de energía fotovoltaica centralizada

Al entrar el 14° Plan Quinquenal, China tiene una idea y una dirección clara de desarrollo para la generación de energía fotovoltaica, y es "acelerar la construcción de proyectos de centrales de energía eólica y fotovoltaica a gran escala en lugares como desiertos, el Gobi y áreas desertificadas". Los proyectos de generación de energía fotovoltaica son muy criticados por la ocupación excesiva de terreno y el alto coste de la tierra. Pero, en los desiertos, el Gobi y zonas de desertificación, la industria fotovoltaica se puede utilizar a gran escala debido a su eficiencia y el precio bajo de la tierra.

La piscicultura, la granja de insectos y el cultivo de arroz bajo paneles fotovoltaicos son medios por los cuales los agricultores chinos utilizan el desarrollo fotovoltaico para combinar sus propias ventajas y generar ingresos. Se combina tecnología y agricultura, y, mientras, se desarrolla energía sostenible (también logra el propósito de ayudar a los agricultores locales a salir de la pobreza o generar ingresos). En Linqing o Shandong, se han cosechado miles de hectáreas de pimientos bajo paneles fotovoltaicos. En la base de plantación de hongos de Zhejiang, los hongos protegidos por paneles fotovoltaicos están creciendo adecuadamente, lo que favorece su ingreso. Por otro lado, la generación de energía fotovoltaica contribuye a los invernaderos modernos en Hebei y Shandong. **Los B&B (hostales familiares) que usan PV en Hubei** se han convertido en la meca de los *influencers* en internet en la industria del turismo, ya que los pequeños paneles fotovoltaicos aportan enormes beneficios económicos.

El objetivo establecido por la Administración Nacional de Energía de China es que la generación nacional de energía eólica y fotovoltaica represente alrededor del 16,5 % del consumo de electricidad de toda la sociedad para 2025. La generación de energía de China representa más del 30 % de la generación de energía fotovoltaica del mundo; mientras que las áreas desérticas son vastas, con poca precipitación anual y largas horas de luz. En la actualidad, la superficie terrestre desértica de China es de 1,72 millones de kilómetros cuadrados. Si pudiera utilizar la energía solar, promovería en gran medida el desarrollo de la industria fotovoltaica e incluso mejoraría la composición energética del país.

(Para casos específicos, consultar el apéndice A.2.2).

#### Caso 1

El Parque Eco-PV en la Prefectura Autónoma Tibetana de Hainan, provincia de Qinghai, fue certificado por *Guinness World Records* el 26 de junio de 2022, convirtiéndose en la mayor capacidad instalada del mundo de parques de generación de energía fotovoltaica y la mayor capacidad instalada del mundo de centrales hidrosolares complementarias.

#### Caso 2

En el municipio de Dengkou, Región Autónoma de Mongolia Interior, esta central eléctrica fotovoltaica de 1,13 millones de metros cuadrados (1,13 kilómetros cuadrados) en el desierto



de Ulan Buhe, produce más de 70 millones de kWh de energía cada año, que pueden abastecer el suministro de casi 20 000 hogares durante un año.

#### 5.5.6 Razones del rápido desarrollo de la generación de energía fotovoltaica descentralizada

Existen dos razones fundamentales por las que la energía fotovoltaica descentralizada se ha convertido nuevamente en un punto primordial:

-En primer lugar, desde la perspectiva de la política, como se había comentado anteriormente, el país tiene una idea y una dirección clara de desarrollo para la generación de energía fotovoltaica. Esto es "acelerar la construcción de proyectos de base de energía eólica y fotovoltaica a gran escala centrándose en los desiertos, el Gobi y áreas desertificadas" y "llevar a cabo la acción de llevar la luz a todos los hogares posibles". En última instancia, el estado quiere, a su vez, desarrollar proyectos de generación de electricidad para ahorrar energía eléctrica. En terrenos de baja eficiencia, como desiertos, el Gobi y áreas de desertificación, se puede utilizar a gran escala; pero en el este y el sur no es económico desarrollar la generación de energía fotovoltaica, ya que hay una escasez de terreno, que, a la vez, es muy valiosos. Sin embargo, las azoteas de los edificios en todo el país son un recurso con un gran potencial, ya que, al utilizar las cubiertas para desarrollar energía fotovoltaica, se puede ahorrar una gran cantidad de recursos de suelo.

-En segundo lugar, en términos de consumo de energía, la mayoría de las bases fotovoltaicas centralizadas a gran escala están ubicadas en la región noreste, norte y noroeste, mientras que los centros de carga nacionales están ubicados en las regiones del este y la costa. La ubicación del recurso y la ubicación de consumo están separadas por miles de kilómetros, por lo que es necesario construir una gran cantidad de líneas de transmisión UHV. Además, también hay una gran pérdida de energía en el proceso de transmisión de energía. Por el contrario, la generación de energía fotovoltaica descentralizada se consume localmente, y, si hay un excedente de electricidad, se puede consumir dentro de un cierto ámbito. Debido a las características propias de la energía fotovoltaica descentralizada, se desarrolló rápidamente dicha energía en el país.

#### 5.5.7 Ventajas y desventajas de la generación de energía fotovoltaica descentralizada

Las ventajas de la generación de energía descentralizada en China son:

- Ahorro de coste
- Ahorro de energía y reducción de emisiones.
- Complementariedad multi-energética.

Las desventajas de la generación de energía descentralizada en China son:

- La construcción de generación de energía fotovoltaica descentralizada está dispersa y es muy difícil despachar y controlar la red de distribución, lo que afecta a la operación segura y estable del sistema.

- El sistema contiene múltiples inversores conectados a la red y, a diferencia de la estación de energía fotovoltaica centralizada, las condiciones de funcionamiento de cada inversor son diferentes. Los armónicos se generan fácilmente durante la operación conectada a la red, causando contaminación.

- Las plantas de energía fotovoltaica descentralizada son más difíciles de operar y mantener, por ejemplo, son difíciles de limpiar. El escape de los vehículos, la contaminación industrial, el polvo del suelo, etc., harán que la superficie de los componentes instalados al aire libre se contamine con polvo.

- La obstrucción (excrementos, hojas de plantas, etc.) afectará a la eficiencia de generación de energía del módulo. La parte obstruida no solo no generará electricidad, sino que también se convertirá en una carga para la fuente de alimentación; y la electricidad consumida será convertida en energía térmica, lo que desemboca en un "efecto de punto caliente" (desgaste inútil). Con el tiempo, la seguridad de la maquinaria de la central eléctrica estará en riesgo.

#### 5.5.8 Problemas existentes en el desarrollo de la industria fotovoltaica de China

Los problemas que podemos encontrar en el desarrollo de la industria fotovoltaica in China son los siguientes:

##### **1. Defectos del desarrollo de la industria desigual.**

##### **2. Sobrecapacidad.**

Mundo 843.086GW-132.805

China 306.403GW -52.985

##### **3. Abandono de exceso de energía generada.**

##### **4. Falta de calidad de los componentes.**

##### **5. Dificultades técnicas que enfrenta la energía fotovoltaica descentralizada en tejados rurales de China.**

5.1 El alcance de las áreas rurales es amplio y disperso. La red de distribución rural es generalmente una estructura simple y radial. La red está dispersa, al igual que la carga de energía. Según la distancia de distribución, es larga o corta, y la calidad del suministro de energía es relativamente inestable: los problemas de la inestabilidad del voltaje de la red y el desequilibrio trifásico son recurrentes.

5.2 La aplicación a gran escala de la generación de energía fotovoltaica descentralizada afectará al funcionamiento estable de la red de distribución tradicional.

5.3 La red eléctrica tradicional tiene predicciones estrictas sobre la potencia de salida. Debido a cambios climáticos, como temperatura, ambiente etc., la fluctuación y la incertidumbre de la generación de energía fotovoltaica son elevados, y la dificultad de predecir

la potencia de salida de centrales eléctricas aumenta.

5.4 El sistema de energía tradicional predice la potencia de salida de acuerdo con la demanda de carga máxima en la red eléctrica regional, mientras que la salida de la generación de energía fotovoltaica descentralizada no entra dentro del pronóstico, por lo que no hay contramedidas efectivas.

## **6. Soluciones a los puntos débiles de financiación a los que se enfrentan los pequeños proyectos fotovoltaicos descentralizados.**

Se propone el innovador modo de garantía de préstamo para proyectos, que adopta el método de garantía característico de hipoteca de bienes, muebles de equipo y prenda de derecho de carga eléctrica; rompiendo el modo de garantía tradicional y explorando una herramienta de apoyo financiero en el mercado de modo diferenciado y con mayor garantía.

Al mismo tiempo, aplicar el modelo de préstamo utilizado en grandes empresas a pequeñas empresas y microempresas, utilizar los activos del proyecto como garantía, utilizar el derecho de cargo del contrato como garantía de reembolso y supervisar los cargos de electricidad recuperados dentro del período de préstamo de 5 a 8 años. Al tiempo que se proporcionan préstamos a empresas, también se garantiza la seguridad de los fondos de préstamos bancarios.

Expondré varios ejemplos de proyectos de financiación que estaban "financieramente disponibles", "económicos", "más rápidos", "más largos" y "más asequibles". Por ejemplo, la Sucursal del Banco Industrial de Nanjing consiguió con éxito el primer proyecto fotovoltaico descentralizado en todo el municipio, y emitió un préstamo de proyecto a una empresa en el municipio de Rudong, que se utilizó especialmente para el proyecto de generación de energía fotovoltaica descentralizada de 96MW en Rudong y las ciudades circundantes. La sucursal de Chuzhou de CITIC Bank, aprobó préstamos de capital de 30 millones de RMB para empresas fotovoltaicas mediante la hipoteca de equipos no estándar. Por medio de préstamos de capital de flujo y cartas de crédito nacionales, se han asignado 150 millones de yuanes de préstamos de capital de flujo y cartas de crédito nacionales a empresas fotovoltaicas. A través de la financiación anterior, el banco ha aprobado 490 millones de yuanes en préstamos para proyectos a medio y largo plazo para empresas fotovoltaicas.

### **5.5.9 Factores que afectan al desarrollo de la generación de energía fotovoltaica descentralizada en China**

De acuerdo con los COSTES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN 2021 publicados por IRENA<sup>58</sup>: "China sigue siendo un mercado importante para la nueva capacidad solar y eólica, los precios de las materias primas y los costes de transporte son más bajos, y en 2021, su mercado local y la dinámica de sus políticas conducen a reducir los precios".

En términos de políticas, los académicos nacionales creen que existen problemas de

---

<sup>58</sup> Fuente: The International Renewable Energy Agency

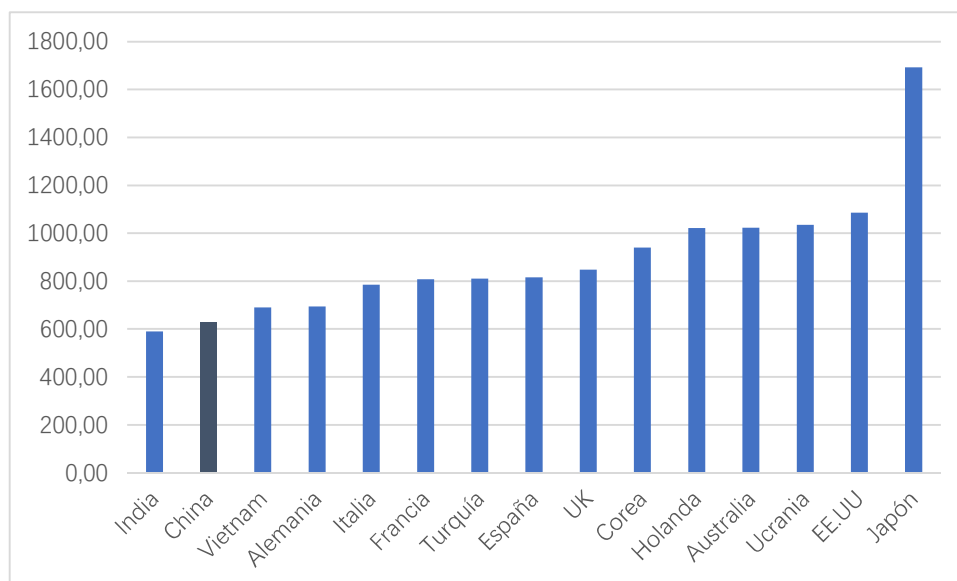
implementación insuficiente en el desarrollo actual de la energía fotovoltaica descentralizada. En términos de conexión a la red, el problema del desarrollo fotovoltaico se refleja principalmente en la débil capacidad de integración de la energía nueva a la red eléctrica existente.

La transformación adaptativa de la red eléctrica existente no se ajusta a la demanda de la energía fotovoltaica descentralizada. Es un obstáculo importante para su desarrollo y utilización [23]. La investigación existente manifiesta que el entusiasmo por la transformación de la red eléctrica enfrenta desafíos en términos de insuficiencia técnica [24], beneficios económicos [25] y seguridad de la red eléctrica [26]. Además, los factores económicos son los más importantes que afectan la disponibilidad al público para adoptar sistemas fotovoltaicos [27]. La parte económica se puede dividir en dos: beneficios y costes. Y los desafíos en términos de beneficios se centran principalmente en la sostenibilidad constante de los subsidios a la generación de energía y la estabilidad de los precios de la electricidad [28-29].

En términos de coste, la energía fotovoltaica distribuida en China superó los problemas de alto coste antes del año 2018. Fue un largo período de recuperación de la inversión y de dependencia de los subsidios para obtener ganancias [30], alcanzando un precio competitivo. Sin embargo, todavía está limitado por costes no técnicos, como la inversión inicial, la renta de la tierra y de los impuestos, los costes de conexión a la red, de mano de obra, de transacción, de investigación y desarrollo, y de relaciones públicas, etc. [31-33].

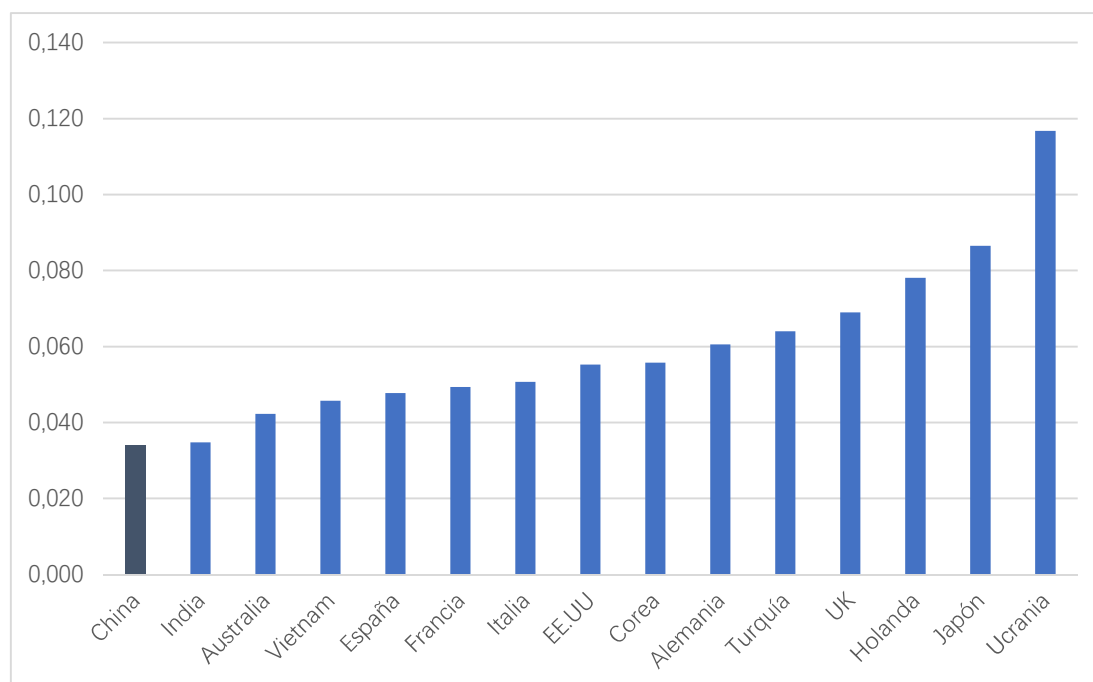
Además, algunos académicos han realizado un análisis exhaustivo de la situación actual. Las tendencias y los factores clave que influyen en el desarrollo fotovoltaico descentralizado en China son los aspectos mencionados anteriormente [34-35-36]. Se concluye, así, que los factores clave que restringen el desarrollo de la energía fotovoltaica descentralizada en China son: problemas de aire, problemas de vida útil de las cubiertas, derechos de propiedad de las azoteas poco claros, política futura incierta y mercado de servicios auxiliares de energía inmaduro.

Comparación de los Coste total de la instalación de energía solar fotovoltaica de China con otros países de Europa y USA.



**Figura 62.** Coste total de la instalación de energía solar fotovoltaica a gran escala en países seleccionados, en 2021<sup>59</sup> (Utility-scale solar PV total installed cost in selected countries).

Coste promedio ponderado de la electricidad solar fotovoltaica a gran escala en países seleccionados, 2021<sup>60</sup>. (Utility-scale solar PV weighted average cost of electricity in selected countries, 2021).

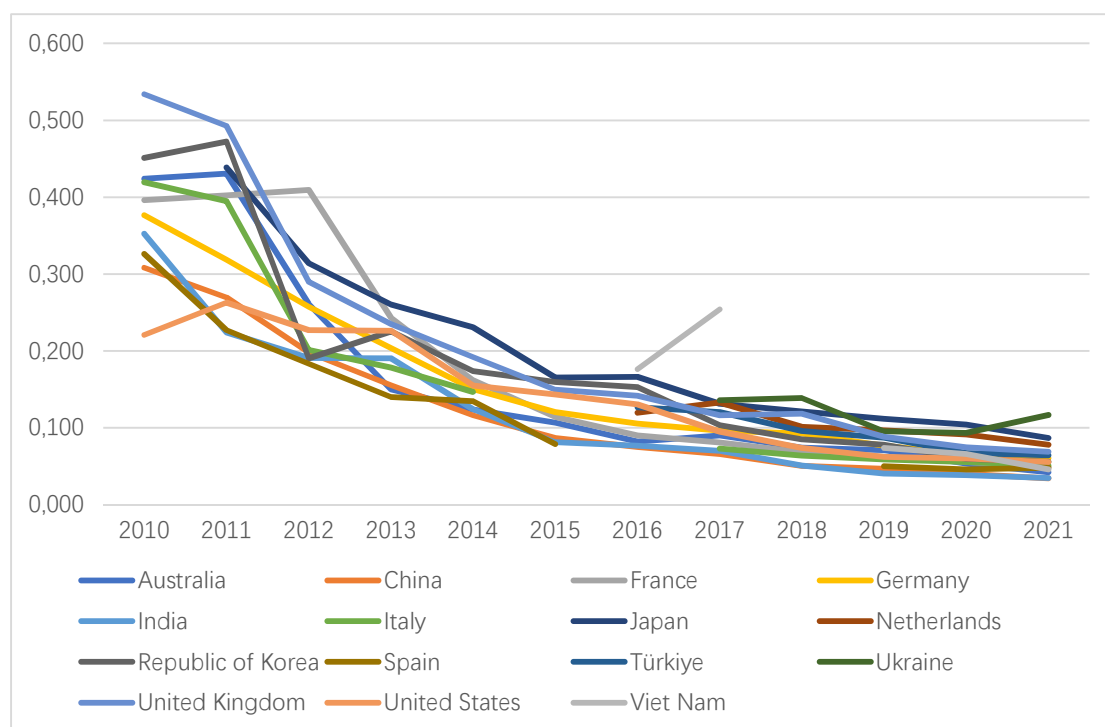


<sup>59</sup> Fuente: IRENA. *Renewable Power Generation Costs in 2021 Report*:

<https://irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>

<sup>60</sup> Fuente: IRENA. *Renewable Power Generation Costs in 2021 Report*:

<https://irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>



#### 5.5.10 Las principales sugerencias y directrices específicas para mejorar el ajuste futuro de las regulaciones gubernamentales sobre la industria fotovoltaica de China

1. Formular planes más detallados de desarrollo de la industria.
2. Mejorar el sistema de regularización de la industria.
  - 2.1 Políticas de subsidio al precio de la energía eléctrica.
  - 2.2 Políticas fiscales, tributarias y de apoyo financiero.
  - 2.3 Políticas de apoyo a la innovación empresarial.
  - 2.4 Políticas de generación eléctrica conectada a la red.
  - 2.5 Plan de proyecto piloto.
  - 2.6 Políticas del proyecto de lucha contra la pobreza.
3. Fortalecimiento de las normativas de la industria y control de acceso de la industria.
4. Fortalecimiento de la gestión del desarrollo de la industria.
5. Desarrollar la organización de la industria y mejorar los servicios públicos.

#### 5.6 La energía CSP<sup>61</sup>/ Energía termosolar de concentración en China

La energía irradiada por el Sol a la Tierra es solamente 1/2,2 mil millones de la energía radiante total del Sol, pero equivale a 35 000 veces el consumo total de energía de la tierra en un año. Si se recolecta la omnipresente energía solar, los seres humanos ya no dependerán de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo o el gas, resolviendo así una serie de problemas como el efecto invernadero y la contaminación ambiental.

<sup>61</sup> CSP(Concentrated Solar Power)

La generación de energía fotovoltaica es la transformación directa de luz a electricidad, debido a que la luz no se puede almacenar. Cuando hay luz, la energía fotovoltaica puede generar electricidad, sin embargo, cuando no hay luz, como por la noche o en los días nublados, la energía fotovoltaica no puede generar electricidad. Esta característica de la energía fotovoltaica supone una de sus limitaciones, al igual que su coste de almacenamiento de electricidad (muy elevado). Cuando la luz incide en el panel fotovoltaico, se genera una corriente eléctrica. Por tanto, si esa electricidad no se puede consumir en ese momento, se desperdiciará.

Este proceso es una limitación técnica para el desarrollo de las energías renovables. Al mismo tiempo, las ventajas de la energía termosolar de concentración son particularmente apreciadas en este momento, ya que el proceso de conversión de energía es diferente. A diferencia de la generación de energía fotovoltaica, que convierte directamente la energía luminosa en energía eléctrica, la generación de energía termosolar de concentración primero convierte la energía luminosa en energía térmica, para después convertirse en energía eléctrica. En este caso, la central termosolar no convertirá toda la luz generada en electricidad, sino que se almacenará una parte de ella para cuando no hay sol o sea de noche; pudiendo la energía térmica almacenada convertirse en electricidad.

Por supuesto, dado que la posición del Sol en relación con la Tierra se mantiene en movimiento, los espejos de la central térmica solar deben girar con este como si fueran un girasol. Todos los espejos convergen en un punto, por lo que se necesita que los espejos funcionen automáticamente. De esta manera, los espejos empiezan a girar guiados por el Sol. Por la noche, volverían a su posición original.

Debido a que la función del espejo es condensar la luz, y el rayo de sol llega a la Tierra en forma de cono, la superficie del espejo debe ser curvada para dirigir el rayo a la torre central, y necesita estar hecha de vidrio ultra blanco para tener una mayor reflectividad; con un requisito de más del 93 %.

Otra función de la generación de energía termosolar de concentración, es que la energía térmica generada por la energía solar puede no convertirse en electricidad, sino que se puede utilizar directamente para la calefacción; para ser usada en los hogares en invierno. Esta tecnología en China se denomina cogeneración de energía solar (太阳能热点联产), por lo que se puede utilizar para generar electricidad en primavera, verano y otoño, y para generar electricidad o calor en invierno (esto puede ayudar a reducir la contaminación causada por la calefacción de carbón). Y no solo eso, otra tecnología llamada 'cogeneración solar hidroeléctrica' (太阳能水电联产技术) consiste en utilizar el calor residual de la luz para la desalinización de agua salobre o agua del mar. Después de calentar el agua del mar a más de 100 grados y luego continuar condensándose, se pueden obtener recursos de agua dulce. En el desierto y las áreas áridas de Xinjiang, si se construye una central termosolar junto al área del lago de agua salada, esta puede convertirse en agua dulce gracias a la tecnología 'cogeneración solar hidroeléctrica'. Utilizando esta agua dulce para cultivar vegetales en invernaderos, puede convertir los alrededores del lago de agua salada en un oasis en el desierto. Precisamente, porque la región

oeste cuenta con mar, desierto y sol, hay grandes expectativas puestas en esta tecnología.

Otra de las tecnologías de China se llama 'tecnología complementaria solar-carbón' (光煤互补技术), que conecta directamente la energía termosolar recolectada al bucle del sistema de generación de energía de la central eléctrica de carbón, lo que complementa a la central eléctrica de carbón para reducir su consumo. Al mismo tiempo, puede aumentar la tasa de utilización de los recursos de energía solar. Por tanto, consume menos carbón cuando hay sol y más cuando el sol desaparece.

### 5.6.1 Elementos de selección del lugar para la construcción de CSP

#### 1. Recursos solares.

1.1. Ubicación geográfica (cuanto menor es la latitud, mayor es el ángulo de luz).

1.2. Calidad del aire.

1.3. Nubosidad y borrasca (pocas nubes, poca lluvia).

2. Costo del terreno (área escasamente poblada, área con terreno económico).

3. Recursos hídricos: Se utilizan para limpiar la ceniza flotante en la superficie del espejo y requieren de agua para la condensación de la turbina de vapor para su correcto funcionamiento. Por ejemplo, las áreas de la meseta de Qinghai-Tibet y Dunhuang tienen excelentes recursos de luz solar. La mayoría de ellos son desiertos y mesetas, por lo que el coste del terreno es bajo y están cerca de montañas cubiertas de nieve. Al ser ricos en recursos hídricos, estas áreas son idóneas para la instalación de CSP.

### 5.6.2 Casos

#### Caso 1

En 2011, el Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Academia de Ciencias de China construyó la primera estación CSP, tipo torre a nivel nacional, con derechos de propiedad intelectual del estado en Yanqing, Beijing.

Apéndice A.2.3. Figura 21.

#### Caso 2

En 2013, Qinghai Delingha construyó la primera central de CSP comercializada en China. Marca que la tecnología termosolar ha pasado del laboratorio al mercado.

Apéndice A.2.3. Figuras 22 y 23.

#### Caso 3

En 2018, Dunhuang, Gansu construyó la primera planta de CSP de torre de soluto de capacidad de producción de 100 megavatios, que actualmente es la planta de CSP más grande de Asia. La transmisión de energía anual constante es de 400 millones de kWh, asegurando la electricidad civil de alrededor de 87 000 hogares circundantes.



Apéndice A.2.3. Figura 24.

#### Caso 4

En septiembre de 2021, la estación de energía termosolar de torre de soluto en Hami, Xinjiang, se conectó oficialmente a la red pública para generar electricidad. Se espera que proporcione casi 200 millones de kWh de electricidad sostenible cada año.

Apéndice A.2.3. Figura 25.

El gran problema actual de la CSP es, en realidad, el alto coste de generación de electricidad. Mientras que tanto la energía fotovoltaica como la eólica se conectaron a la red pública al precio de mercado sin subsidio del estado, la electricidad producida por CSP aún necesita ayudas estatales para ingresar al mercado de manera competitiva. Por lo tanto, el problema ahora es reducir el precio de la generación de electricidad por energía termosolar a través del progreso tecnológico. Al mismo tiempo, el estado también necesita introducir algunas políticas correspondientes para promover el desarrollo de la generación de energía termosolar.

China lanzó sus primeros proyectos piloto y precios de referencia de la electricidad para la energía termosolar en 2016, lo que condujo al rápido desarrollo de la generación CSP en China. Para 2019, la capacidad instalada nacional alcanzó los 550 MW, ocupando el quinto lugar en el mercado mundial.

La generación de energía térmica y otras fuentes de energía renovable se enfrentan a la misma dificultad: en el oeste se poseen los recursos naturales que facilitan el desarrollo de la energía renovable y en el este se concentra el consumo de energía, pero pocos recursos. Debido a que la generación de energía fotovoltaica es inestable (genera electricidad durante el día y no durante la noche), se crea un desequilibrio entre la oferta y la demanda. Teniendo en cuenta esto, la solución sería aprovechar las características del almacenamiento de la energía termosolar, utilizando la generación de energía fotovoltaica durante el día, y la energía termosolar almacenada para generar electricidad por la noche; regulando el valor máximo de la potencia y estabilizándolo.

La lección de un caso particular nos puede ayudar a encontrar una posible solución para casos generales similares. A la hora de enfrentarse a una generación de energía inestable, la solución sería, en principio, combinar diferentes energías, tales como la eólica, la hidroeléctrica, la solar fotovoltaica y la termosolar. Los pasos son los siguientes: primero, integrar diversos tipos de fuentes de energía cerca del punto de suministro y combinarlos entre ellos para, finalmente, lograr una salida de energía continua, estable y a gran escala. Este tipo de electricidad se puede consumir cerca de la central, y también se puede transmitir a la zona este del país, donde hay una gran demanda de electricidad. Actualmente este proceso se está implementando en China, usando la estabilidad de CSP para neutralizar la inestabilidad de la energía fotovoltaica, formando ambos una estación de energía solar. En un posible futuro, con la formación de dichas energías, la capacidad de generación continuará aumentándose, el coste se reducirá aún más y la generación de energía solar fotovoltaica y termosolar se acapará más la red eléctrica pública. Por lo tanto, la población china utilizará electricidad más sostenible, más segura y más barata.

Como fuente importante de energía renovable, la energía solar remodelará el futuro de la energía humana con su aplicación a gran escala.

### 5.6.3 Discusiones de CSP de China

Actualmente la CSP no es competitiva, de hecho, es más cara que la energía fotovoltaica y energía la eólica. Sin embargo, tiene la ventaja de que puede almacenar el calor y producir electricidad cuando no hay sol. En este sentido, complementa a otras energías más económicas y menos estables como a las dos mencionadas. Por eso, el coste de la electricidad hay que medirlo para cada técnica en concreto, pero, también, desde un punto de vista conjunto. Es decir, el coste de un 'sistema renovable' en el que el papel de la energía CSP es fundamental. Esto solo puede ser asumido por el estado, porque para un particular no es rentable. Con lo cual, tiene sentido que el estado invierta en estas energías.

## 5.7 Conclusión:

- El estado general de las reservas de energía de China es rico en carbón y carece de petróleo y gas. El consumo de energía de China está dominado por la energía fósil, con un 56,8 % de carbón, un 18,9 % de petróleo, un 8,4 % de gas natural y un 15,9 % de energía no fósil. Del cual, aparte de la energía nuclear, la proporción de generación de energía de hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa es solo del 13,68 % (apartado 7.1-7.2).
- Aunque la proporción de energía renovable en el consumo total de energía de China es mucho menor que la de la energía tradicional, la energía renovable va en aumento año tras año y se está desarrollando rápidamente. A finales de octubre de 2021, la capacidad instalada de generación de energía hidroeléctrica, eólica, solar y de biomasa alcanzó los 385 millones, 299 millones, 282 millones y 35,34 millones de kilovatios, respectivamente. Todos mantuvieron el primer lugar mundial, durante 17 años, 12 años, 7 años y 4 años consecutivamente (apartado 7.1).
- Un problema energético importante en China es la distribución desequilibrada entre el suministro y el consumo, entre la oferta y demanda; también entre el oeste y el este. Este problema se podría resolver mediante el desarrollo de la energía renovable. A la vez que satisfaga la demanda de energía en las regiones central y este, también se mejora la economía de la región oeste (relativamente atrasada) (apartado 7.3).

- En 2020, el presidente Xi Jinping, propuso el objetivo de "doble carbono" y formuló el 14º plan quinquenal de desarrollo de energías renovables, que marcó claramente el objetivo de alcanzar la proporción de energía sostenible en la energía total (apartado 7.4.1-7.4.2).
- Desde el gobierno central hasta los gobiernos locales, desde el Consejo del Estado, la Administración Nacional de Energía, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma, el Ministerio de Ciencia y Tecnología, el Ministerio de Recursos Naturales, el Ministerio de Ecología y Medio Ambiente, el Ministerio de Educación, el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información, el Ministerio de Agricultura y Asuntos Rurales, el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural, la Oficina Nacional de Desarrollo Rural, la Administración Estatal para la Regulación del Mercado, hasta el Banco Popular de China y la Comisión Reguladora de Seguros de Banca de China, han formulado, en diversos campos, políticas energéticas acordes a las condiciones nacionales, a través de normativas de orientación estatal, apoyo financiero, desgravación fiscal, normas de la industria y restricciones de capacidad de producción (apartado 7.4.1-7.4.2).
- La esencia de la optimización energética es garantizar la seguridad energética del país, proporcionando un suministro seguro y confiable a largo plazo, y tener un buen entorno ecológico y menores costes de energía. Por lo tanto, China también debe encontrar un equilibrio entre la reducción de carbono y el desarrollo económico. En otras palabras, China necesita formular un plan de reducción de carbono bajo la premisa de garantizar el desarrollo estable de su propia economía (apartado 7.1-7.2).
- La energía renovable supone la dirección de desarrollo energético del país. En comparación con la energía fósil, la energía renovable no se ve afectada por la geopolítica, y es un recurso que puede ser controlado por el país, por lo que es más seguro y fiable. Además, la transición energética hacia las energías renovables ha aportado vitalidad y nuevas ventajas competitivas a la economía nacional. Ejemplo: coches eléctricos (apartado 7.2).
- El estado de desarrollo de la energía fotovoltaica de China: en el 2021, entre la energía fotovoltaica distribuida y centralizada representaron cada uno la mitad de la cuota de mercado, donde la energía fotovoltaica doméstica representa el 73,8 % del mercado descentralizado; lo que representa alrededor el 39,4 % de la energía total recién instalada en 2021 (apartado 7.4.3).
- Existen cuatro tipos de operación de los proyectos de generación de energía fotovoltaica descentralizada en azoteas en China: (1) instalación eléctrica de

construcción propia, en la que toda la generación de energía está conectada a la red pública; (2) autoconstrucción y uso propio, donde la electricidad restante está conectada a la red pública; (3) gestión de energía por contrato, donde toda la generación de energía está conectada a la red eléctrica; (4) gestión de energía por contrato, donde la electricidad restante está conectada a la red pública. Para la generación de energía fotovoltaica distribuida en la azotea de grandes fábricas, se requiere un gran coste de inversión inicial en la instalación, por lo que el modo (4) es el modo preferido por los usuarios en China para reducir la presión de inversión de los prosumidores nuevos (apartado 7.4.4).

- Razones del rápido desarrollo de la generación de energía fotovoltaica descentralizada en China: (1) está en línea con la dirección de desarrollo nacional y respaldada por varias políticas de apoyo del gobierno central y los gobiernos locales; (2) la producción y consumo local de energía fotovoltaica distribuida pueden resolver el problema de desequilibrio entre el este y el oeste de China por el suministro y la demanda de energía (apartado 7.4.6).
- Ventajas de la generación de energía descentralizada en China: (1) ahorro de coste; (2) ahorro de energía y reducción de emisiones; (3) complementariedad multi-energética (apartado 7.4.7).
- Desventajas de la generación de energía fotovoltaica descentralizada en China: (1) la construcción de la central de energía fotovoltaica descentralizada está dispersa y es muy difícil repartir y controlar la red de distribución, lo que afecta a una operación segura y estable del sistema; (2) el sistema contiene múltiples maquilarias conectadas a la red (inversores). Los armónicos<sup>62</sup> se generan fácilmente durante la operación conectada a la red, causando contaminación; (3) las plantas de energía fotovoltaica descentralizada son más difíciles de operar y mantener, y la superficie de los componentes instalados al aire libre se contamina con el polvo; (4) la aparición del "efecto de punto caliente" pone en riesgo la seguridad de los equipos de la central (apartado 7.4.8).
- Problemas existentes en el desarrollo de la industria fotovoltaica: (1) el desarrollo desigual de la industria; (2) sobrecapacidad; (3) abandono de exceso de energía generada; (4) falta de calidad de los componentes; (5) dificultades técnicas; (6) dificultad de financiación (apartado 7.4.9).
- Factores que afectan al desarrollo de la industria fotovoltaica: (1) implementación insuficiente de la normativa; (2) capacidad insuficiente de integración de la energía nueva a la red eléctrica existente; (3) factores económicos; (4) otros factores como problemas de aire, problemas de vida útil de las cubiertas, derechos de propiedad de

---

<sup>62</sup> En sistemas eléctricos de corriente alterna los armónicos son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.

las cubiertas poco claros y mercado de servicios auxiliares de energía inmaduro, etc. (apartado 7.4.10)

- Principales sugerencias y directrices específicas: (1) formular planes más detallados de desarrollo de la industria; (2) mejorar el sistema de regularización de la industria, como el subsidio al precio de la electricidad, normativas fiscales, tributarias y de apoyo financiero, políticas de apoyo a la innovación empresarial, políticas de generación eléctrica conectada a la red, Plan del proyecto piloto, políticas del Proyecto de lucha contra la pobreza, etc.; (3) fortalecer las normativas de la industria y control de acceso; (4) fortalecer la gestión del desarrollo de la industria, (5) desarrollar la organización de la industria y mejorar los servicios públicos (apartado 7.4.11).
- El concepto de "la comunidad energética", generalmente entendido en Europa como un mecanismo interactivo para distribuir la energía dentro de la comunidad energética, es más común, popular y extendido en Europa, mientras que en China se encuentra solo en la etapa de investigación y exploración teórica. Por eso, se implementó el plan de desarrollo de energía sostenible a través de una fuente de energía distribuida con características basadas en las propias condiciones nacionales del país (apartado 7.4.4).
- Actualmente la CSP no es competitiva en el mercado, sin embargo, tiene la ventaja de que puede almacenar el calor y producir electricidad cuando no hay sol. En este sentido, complementa a otras energías más económicas y menos estables como a la energía fotovoltaica y la energía eólica, para generar una salida de potencia estable y segura. Por lo tanto, ha recibido un gran apoyo estatal y un desarrollo avanzado en China, pero, al mismo tiempo, el problema está en que necesita reducir el coste de generación de electricidad por la energía termosolar a través del progreso tecnológico para poder ingresar en el mercado de manera competitiva (apartado 7.5).

## 6. Evaluación de las ganancias y ahorros en eficiencia energética en el Plan de Carbono Neutral 2060 de China

### 6.1 Introducción

A finales de 2020, el gobierno chino anunció su compromiso de alcanzar la neutralidad de carbono en 2060. Además de eso, se esperaba que el pico de emisiones de carbono se alcanzara antes del año 2030. Todo esto vendría acompañado de un cambio en la política de crecimiento, orientado hacia un crecimiento de calidad, respetando el medio ambiente y centrado en el bienestar de la población [85]. Aunque en el momento del anuncio del compromiso no se adelantaron muchos detalles al respecto, el gobierno chino [86] indicó, entre otros asuntos, que el carbón no iba a ser abandonado, sino que sería integrado en una política de Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono (CCUS). Así mismo, También se señaló que se adoptarían medidas para el desarrollo del mercado de emisiones de carbono y los límites de emisión, subrayando el compromiso de alcanzar una economía circular, que desembocaría en una economía ecológica. En aquel momento, el compromiso no fue acompañado de un plan detallado para implementarlo. Sin embargo, fue aceptado internacionalmente para sorpresa y alivio de China, un país que emite, aproximadamente, el 30% de los gases de efecto invernadero (GEI) del mundo. Por esta misma razón, cualquier plan para limitar las emisiones mundiales de GEI y que la temperatura no aumente, siguiendo el ejemplo del IPCC, involucra a la economía china de manera esencial y primaria.

Los organismos internacionales especializados en análisis energético valoraron muy positivamente este compromiso, aunque subrayaron la enorme dificultad de llevarlo a cabo. La AIE [87], por ejemplo, destacó la necesidad de crecimiento en innovación, así como la electrificación en transporte y edificios. Sin embargo, sí admitió que los objetivos estaban dentro de las posibilidades financieras de la economía china. La AIE también destacó que era necesario adaptar el ritmo de transformación a los intereses de los accionistas y consumidores, para permitirles, de este modo, adaptarse a los cambios. Por su parte, Irena [88], además del asesoramiento habitual sobre el despliegue acelerado de energías renovables (ER), hizo las siguientes recomendaciones:

- a) Desarrollar un plan detallado para la transformación energética de todos los sectores de la economía.
- b) Acelerar la eliminación gradual del carbón como fuente de energía.
- c) Priorizar a las ciudades fuentes de una vida con bajas emisiones de carbono y, simultáneamente, priorizar un sistema basado en la generación distribuida de energía.
- d) Contribuir a flexibilizar el sistema eléctrico haciendo que la demanda de energía urbana responda mejor a la generación renovable. El enfoque de Irena está en línea con el desarrollo de la energía distribuida y el abandono del sistema centralizado basado en combustibles fósiles, lo que supone una diferencia sustancial entre este informe y el de la AIE.

Tras este anuncio, diversos organismos oficiales chinos comenzaron a publicar informes cada vez más detallados sobre la hoja de ruta para la ejecución de dicho plan. Uno de los más reconocidos fue el desarrollado por la Universidad de Tsinghua [89], aunque el horizonte considerado no era el mismo, ya que finalizaba en el año 2050. A grandes rasgos, este plan aclaraba que el objetivo era alcanzar aproximadamente un 85% de ER en ese año, incluyendo la energía nuclear (un 15% procedería de energías fósiles, cuyas emisiones serían abordadas con la implementación del CCUS). El plan también suponía que la demanda final de energía continuaría aumentando ligeramente hasta 2030 para disminuir posteriormente, alcanzando, en 2050, casi el mismo valor que en 2020. Así mismo, otro instituto chino publicó un escenario similar [90], aunque con unas estimaciones de la demanda algo menos restrictivas. Recientemente, Sinopec [91] también publicó algunos escenarios detallados; más realistas en la medida en que suponen un ligero aumento de la demanda final de energía en 2060.

Este anuncio del gobierno chino llamó, y sigue llamando, mucho la atención en el mundo académico, aunque es cierto que han sido principalmente autores chinos quienes lo han analizado en profundidad. La conclusión general es que es un plan factible. En este ejemplo [92], aunque se trata de un análisis fundamentalmente descriptivo, se subraya la necesidad de frenar el desarrollo de nuevas minas de carbón y acelerar al máximo el despliegue de energías renovables. En este otro [93], se utilizó una base de datos de 19 años (2001 - 2019) para estimar un modelo de demanda desagregada para varios tipos de energía y predecir así la demanda futura hasta 2060. La estimación se basó en el método de mínimos cuadrados, incluyendo varios parámetros, que fueron estimados a priori. Por otro lado, en dicho estudio, para realizar la proyección se asumió que la eficiencia en la demanda de energía de cada tipo seguiría las previsiones oficiales. De este modo, se obtuvo que la predicción era consistente con las suposiciones del gobierno, por lo que la demanda energética esperada para el año 2060 debería ser, aproximadamente, igual a la del año 2020.

En el siguiente [94], se llevó a cabo un análisis de la demanda (también hasta 2060), según un desglose de 30 provincias chinas. Estos autores tomaron las previsiones oficiales de intensidad energética como variable dependiente en el periodo de predicción. A partir de ahí estimaron un modelo de actuación, y el resultado que obtuvieron fue que la demanda agregada de energía esperada en 2060 será aproximadamente igual a la de 2020, confirmando las previsiones oficiales. Lo más interesante de este estudio es que analizaron las demandas de cada provincia de forma independiente. En [95], por otro lado, se partió de una ecuación de emisiones estándar que se desglosó en varios factores explicativos. A su vez, estos factores y su evolución futura se predijeron mediante un tipo de modelo de aprendizaje automático: un algoritmo genético con enfoque de memoria a corto plazo (GA-LSTM). Estos autores utilizaron una muestra desde 2000 hasta 2019, es decir, 20 observaciones, para estimar los modelos. Sin embargo, la estimación se efectuó con el 85% de la muestra, por lo que finalmente utilizaron 17 observaciones para estimar un modelo de aprendizaje automático independiente para cada variable. La conclusión a la que se llegó es que los objetivos para 2030 se pueden alcanzar, aunque para el año 2060 no son tan optimistas.

En [96], se desarrolló un modelo de emisiones basado en el crecimiento, pero medido a través

de una serie de indicadores que incluían la calidad, es decir, «crecimiento de calidad», como lo expresaron los autores. El modelo utilizado fue la Curva Ambiental de Kuznets (EKC). Estos autores concluyeron que la neutralidad en las emisiones de carbono se puede lograr antes de 2050, pero que las exigencias de crecimiento de calidad son muy altas. Un problema de este modelo es que, al ser una función cuadrática, más allá del punto en el que se alcanzan las cero emisiones, implica que estas se vuelven cada vez más negativas, algo inviable a largo plazo. En [97], se aplicó un modelo de tipo gris para predecir la demanda de energía no renovable. Aunque solo lo extrapolaron al año 2026, concluyeron que seguiría creciendo, resultado que podría poner en duda las previsiones oficiales.

En [98], se enfatizó que un país como Estados Unidos (actualmente el segundo mayor emisor de gases de efecto invernadero del mundo) ha tardado casi 90 años en llegar al punto de reducir las emisiones manteniendo el crecimiento económico. Sin embargo, se espera que China llegue a ese punto con anterioridad, lo que implica que las exigencias a China son mucho mayores que las que han sido para otros países occidentales. Esto, de acuerdo con los autores, reafirma la dificultad y el esfuerzo del compromiso de neutralidad. En [99], por otro lado, se estableció un modelo predictivo basado en un análisis desagregado para 30 provincias chinas y se analizaron varios escenarios posibles de crecimiento demográfico, tecnológico y económico. Para ello utilizaron las previsiones oficiales, a partir de las cuales estimaron el modelo. Según las conclusiones que se alcanzaron, sí se puede cumplir la previsión oficial, ya que las disminuciones que implican las estimaciones se consideran viables. Desde otra perspectiva más limitada, [100] analizó la demanda de los minerales críticos necesarios para el despliegue planificado de energías renovables, especialmente fotovoltaicas (PV), eólicas y vehículos eléctricos (EV). La conclusión más destacada de este estudio fue el suministro limitado de cobalto, lo que puede dificultar la ejecución de planes para el despliegue de vehículos eléctricos. Esto también coincide con las estimaciones generales realizadas para el mundo [101].

De este modo, la conclusión general, tanto de organismos internacionales como de estudios académicos, es que el objetivo de neutralidad anunciado por el gobierno chino es factible, aunque implica una serie de transformaciones importantes de su sistema energético. Cabe señalar también que todos estos estudios se basan en series históricas de poca extensión (un máximo de 20 años). Además, los métodos aplicados son excesivamente simples y se basan en una aplicación directa de mínimos cuadrados ordinarios (modelos más o menos desagregados) o incluso aplican métodos de aprendizaje automático (bases de datos bastante cortas), con una idoneidad limitada para este tipo de estimaciones. Además, casi todos los estudios introducen de una forma u otra las previsiones oficiales de ganancias de eficiencia dentro de sus previsiones, lo que, aunque no necesariamente es incorrecto, no proporciona una evaluación independiente de la viabilidad de esas previsiones.

Teniendo en cuenta este contexto, los objetivos de este estudio son los siguientes:

- 1) Estimar cuantitativamente un modelo agregado para la demanda de energía primaria en China, basado en series históricas de larga duración y utilizando una metodología de estimación novedosa.



- 2) Proyectar la demanda energética futura hasta 2060 y su distribución estadística completa, yendo más allá del habitual análisis de sensibilidad basado en escenarios concretos, permitiendo una evaluación de riesgos.
- 3) Evaluar la viabilidad de alcanzar los objetivos de neutralidad para el año 2060, presentando la discusión sobre las previsiones obtenidas de forma independiente y sin incorporar desde el inicio ningún supuesto que implique el cumplimiento de los objetivos, como ha sido la práctica habitual en los estudios hasta el momento.

El informe de este estudio es el siguiente: Se ponen de manifiesto las contribuciones más relevantes en este campo realizado en el apartado 6.1; las líneas generales de la metodología se presentan en el apartado 6.2; se presentan las series utilizadas y los principales resultados divididos en varios subapartados en el apartado 6.3; el apartado 6.4 compara estos resultados con las proyecciones oficiales y evalúa su viabilidad; el apartado 6.5, finalmente, presenta un breve resumen de las conclusiones y las implicaciones en materia de política, así como las posibles limitaciones y ampliaciones adicionales del estudio.

## 6.2 Metodología

En un estudio anterior [102], se especificaron modelos de comportamiento económico para las variables también consideradas en este nuevo estudio; es decir, la demanda de energía final, el crecimiento del PIB y de la población. Sin embargo, hay que tener en cuenta que fue para una economía diferente. Los modelos básicos aquí analizados están inspirados en esos modelos anteriores, aunque la especificación es diferente, ya que los datos y el caso analizado también lo son. El método de análisis, por lo tanto, es distinto y novedoso. La metodología propuesta podría caracterizarse, en pocas palabras, como una estimación sólida de las tendencias de equilibrio, basada en muestras aleatorias durante el período histórico concreto seleccionado, que permite, de este modo, obtener una distribución estadística de las previsiones en el horizonte de interés. En este caso, el año 2060.

El primer paso es la estimación de las tendencias de las variables involucradas, realizada con una metodología basada en el modelo de espacio de estados [103]. Se puede caracterizar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}x_n &= Fx_{n-1} + Gv_n \\ y_n &= Hx_n + w_n \quad (1)\end{aligned}$$

donde  $F$  y  $G$  son matrices cuadradas y  $H$  es una matriz de dimensiones apropiadas. Los errores  $v_n$ ,  $w_n$  son ruido blanco siguiendo las distribuciones de  $(0, \tau^2)$  y  $N(0, \sigma^2)$ , respectivamente. El modelo y la variable subyacente  $x_t$ , es decir, la tendencia en este caso, se pueden estimar maximizando la probabilidad y seleccionando el mejor grado del modelo dinámico de acuerdo con los Criterios de Información de Akaike (AIC).

Analizar las tendencias, en lugar de las variables originales, tiene varias ventajas. En primer lugar, este procedimiento elimina componentes aleatorios que podrían eclipsar la relación entre las variables analizadas. De hecho, al estimar los modelos con las variables de tendencia en

lugar de las originales, la precisión de las estimaciones es mayor, así como su varianza es menor. Además, es apropiado asegurar que los agentes económicos planifican su comportamiento futuro considerando un posible horizonte, y no simplemente reaccionando a cambios actuales. Por esta razón, es probable que la estimación del modelo con variables de tendencia sea más precisa; de hecho, es fácil comprobar que, en este caso, si se estima con variables observadas en lugar de variables de tendencia, los estimadores sean parciales. En caso de que los agentes económicos decidan su comportamiento con base a los valores actuales de las variables relevantes sin hacer planes futuros, estaríamos hablando de una estimación del modelo con variables de tendencia insesgada.

El segundo aspecto a considerar es el método de estimación. En este estudio, se eligió el método de mínimas desviaciones absolutas (LAD) [104] basándose en la minimización de los errores de Laplace. A diferencia del método estándar de mínimos cuadrados ordinarios, es más sólido, es decir, menos sensible a posibles valores atípicos y cambios erráticos en las tendencias del corto plazo. Es prácticamente seguro que todos estos fenómenos ocurren durante un período histórico extenso, como el que aquí se considera. Por lo tanto, es preferible un método sólido a un método tradicional de mínimos cuadrados. El estimador LAD se obtiene minimizando la siguiente expresión con respecto a (w.r.t.) el vector de parámetros  $\beta$ , sobre un conjunto de  $T$  observaciones disponibles,

$$\min \left\{ \sum_{t=1}^T |y_t - x_t' \beta| \right\} \quad (2)$$

donde  $x_t'$  es un vector de posibles variables explicativas para la observación dependiente,  $y_t$ . De este modo, es más costoso de calcular que el estimador de mínimos cuadrados ordinario estándar, pero con el enorme aumento en la potencia y desarrollo de las computadoras, esta cuestión se ha vuelto irrelevante.

El siguiente aspecto es la estimación. En primer lugar, se estiman las relaciones de equilibrio a largo plazo, relacionando directamente las variables relevantes en niveles [105]. Esto evita complicaciones dinámicas, que sólo son relevantes en la previsión a corto plazo. El modelo dinámico lineal, que es estándar en la investigación estadística aplicada, se puede escribir de la siguiente manera:

$$\Delta y_t = \Delta(\alpha) x_t' - \gamma(y_{t-1} - \beta' x_{t-1}) \quad (3)$$

donde  $\alpha(L)$  es un polinomio en el operador de rezago:  $L$ . La idea fundamental es que la relación de equilibrio a largo plazo,  $(y_{t-1} - \beta' x_{t-1})$ , puede estimarse omitiendo directamente la dinámica, siempre que las variables tengan tendencia y el residual ajustado sea estacionario [105]. Este procedimiento de estimación no es apropiado para pronósticos a corto plazo, pero sí cuando el objetivo es derivar pronósticos de equilibrio a largo plazo. Además, la estimación de modelos dinámicos simultáneos puede generar dinámicas inestables que invalidarían el proceso de estimación [106]. No existe en el ámbito académico un método claro para evitar este problema, lo que hace recomendable optar por la estimación de tendencias de equilibrio, como se hace en

este estudio. El método propuesto está inspirado en los métodos *jackknife* y *bootstrap* [107], basado en selecciones aleatorias de la muestra objeto de estudio, para configurar la muestra de estimación en cada caso. Es decir, a partir de una muestra de  $T$  observaciones, se seleccionan  $T$  muestras de estimación, descartando en cada caso una observación diferente. Además, el tamaño de la muestra de estimación es otra variable a considerar. Todo esto genera una amplitud de casos, lo que confirma la variabilidad de los parámetros a lo largo del período analizado, e incluso del modelo propuesto, ya que la significancia estadística de las variables depende de la muestra de estimación. Esta variedad de estimaciones, además, da como resultado una distribución estadística fundamental para las variables consideradas en el período mencionado (año 2060 en este caso), así como para todas las fechas intermedias. Debe enfatizarse, de este modo, que este método evita y supera la prueba de sensibilidad tradicional al proporcionar la distribución estadística completa de la variable simulada.

El procedimiento se basa en los siguientes puntos:

- a) Extracción de las tendencias de las variables analizadas.
- b) Identificación de las características esenciales de las variables y del modelo general.
- c) Estimación de relaciones de tendencia de equilibrio.
- d) Aplicación del método de estimación sólido, LAD.
- e) Selección de múltiples muestras, dentro de la base de datos disponible, de forma aleatoria y de diferentes tamaños.
- f) Simulación y derivación de la distribución estadística futura de las variables analizadas, en particular la demanda de energía.
- g) Caracterización de la distribución obtenida y análisis de riesgos.

Existen métodos de simulación alternativos para horizontes futuros. Por ejemplo, los métodos ascendentes intentan especificar relaciones de comportamiento individuales detalladas y de ahí se deriva la simulación futura; ver, por ejemplo, [102]. El problema de estos modelos, aunque teóricamente son superiores, es que requieren una gran cantidad de datos que no están disponibles, por lo que al final la mayoría de los parámetros tienen que inferirse a priori. También son interesantes los métodos históricos desagregados, relacionados con el método de análisis de series históricas aquí propuesto. Sin embargo, el problema, una vez más, es que las series, o no están disponibles, o son demasiado cortas para generar pronósticos creíbles. Por último, los métodos de aprendizaje automático y de inteligencia artificial, muy populares en la predicción a corto plazo, han demostrado su utilidad al ser capaces de capturar relaciones no lineales, imposibles de detectar con los modelos estadísticos tradicionales. Sin embargo, su capacidad para predecir el largo plazo no está del todo clara, ya que las relaciones dinámicas no lineales, más allá de unas pocas observaciones muy cercanas a la muestra de estimación, pueden generar resultados difusos, es decir, resultados muy extremos y variables, debido a sus fundamentos matemáticos subyacentes. Propiedades [108].

El siguiente aspecto metodológico que se utiliza en este trabajo es el análisis de riesgos, el cual está implícito en la distribución aleatoria de las simulaciones. Para ello se utilizan medidas ya conocidas, como el Valor en Riesgo (VaR) y el Valor en Riesgo Condicional CVaR, propuestos

y discutidos por [109]. Se definen de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Prob}\{x \geq \text{VaR}\} &= \alpha \\ \text{CVaR} &= E\{x|x \geq \text{VaR}\} \end{aligned} \quad (4)$$

Fundamentalmente, estas medidas intentan cuantificar la posibilidad, o probabilidad, de que ocurra un evento desfavorable, aunque este no sea probable. Estas medidas se calculan y presentan en el apartado 6.3.

### 6.3 Resultados empíricos

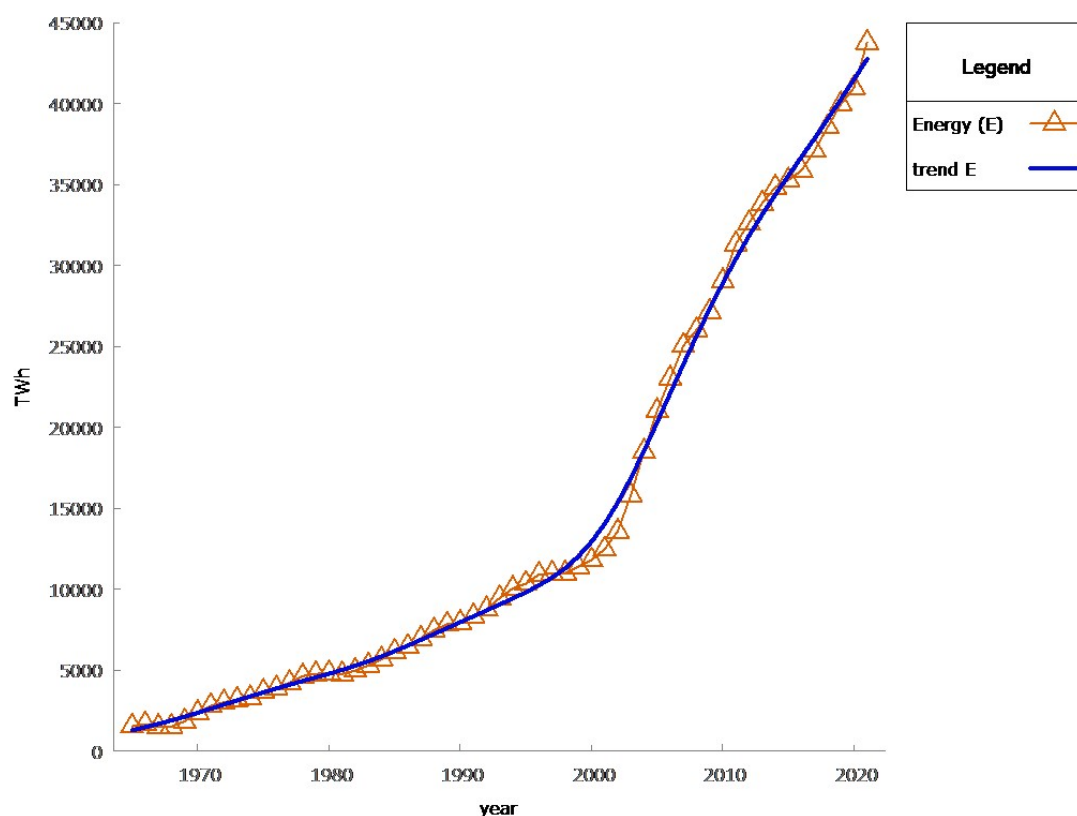
Esta sección reporta los principales resultados del estudio. Se basa en un conjunto de datos extraídos de fuentes internacionales fiables. Los datos de energía primaria desde 1965 están disponibles en términos de TWh anuales en Our World in Data (OWD) [110]. Los datos del producto interno bruto (PIB), desde 1950, están disponibles en el proyecto Madison [111], y para fechas más recientes, en el Banco Mundial. Finalmente, en cuanto a los datos de población, están disponibles desde 1820 en [111], y desde 1950, incluyendo proyecciones hasta 2060, en el departamento demográfico de las Naciones Unidas [112].

Esta sección está organizada de la siguiente manera:

En primer lugar, los principales resultados del análisis de tendencias se presentan en la sección 6.3.1. En segundo lugar, las características más destacadas de las variables analizadas se analizan en la sección 6.3.2. Finalmente, la sección 6.3.3 reporta los resultados de las simulaciones estocásticas hasta el horizonte del año 2060.

#### 6.3.1 Análisis de tendencia

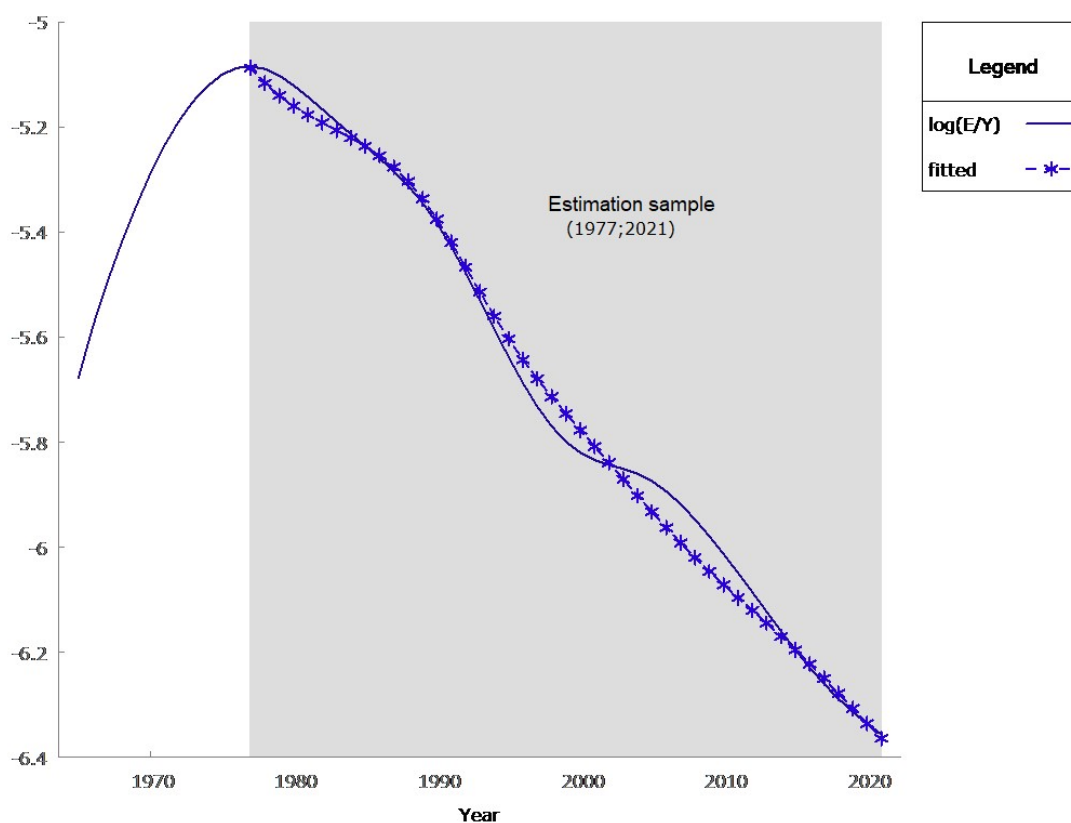
La Figura 63 muestra la implementación de la metodología de estimación de tendencias discutida en la sección 6.2 para la demanda de energía final. Como se puede observar, la tendencia suaviza gran parte de los movimientos aleatorios a corto plazo de las observaciones originales y permite una mejor evaluación de su comportamiento a largo plazo.

**Figura 63.** Energía (primaria): tendencial y real.

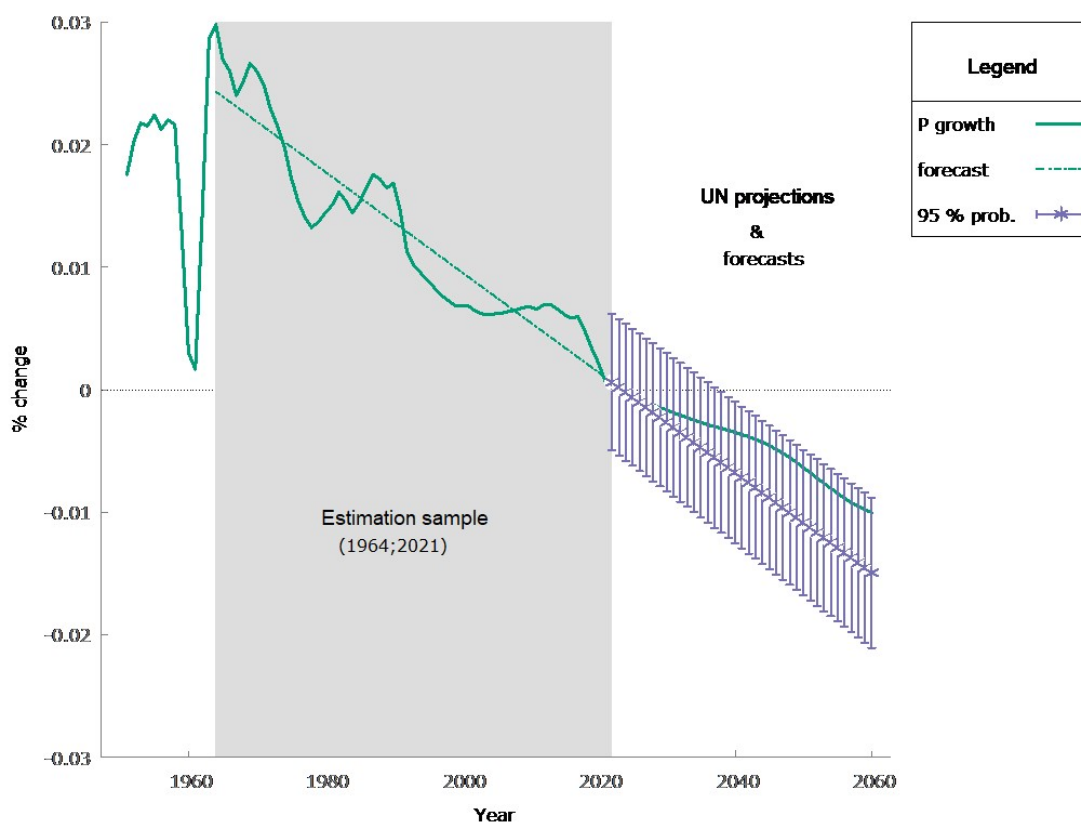
La aplicación de esta metodología al análisis del PIB y de la población arroja resultados similares, aunque en ambos casos el efecto no es tan pronunciado, por lo que se omiten las cifras correspondientes.

### 6.3.2 Análisis de los datos

Un análisis y descripción preliminar de las series puede ayudar a identificar sus principales características y los periodos de estimación relevantes. En primer lugar, la relación entre energía e ingreso muestra aumentos considerables en la eficiencia a lo largo del tiempo, como se puede ver en el gráfico que muestra esta relación; es decir, energía sobre PIB. La Figura 64 muestra la evolución del logaritmo de este ratio y un ajuste simple basado en el logaritmo del PIB. El resultado final es una elasticidad que se sitúa entre 0,6 y 0,7 dependiendo de la muestra seleccionada. Asimismo, se puede comprobar que esta relación es relativamente estable a partir de 1977, que será el período seleccionado para la estimación. La tasa de cambio poblacional también resulta significativa con un efecto positivo en la demanda de energía.

**Figura 64.** Relación energía/PIB y ajuste (en logaritmos).

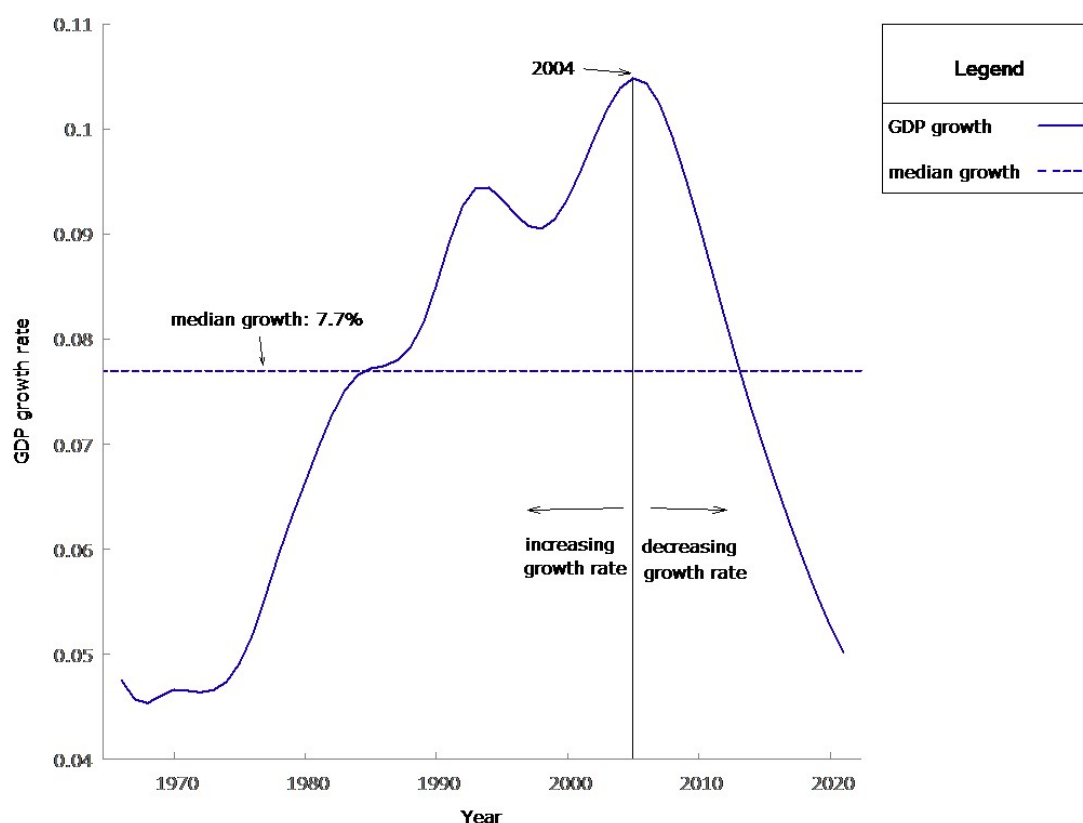
El análisis de la población se presenta en la Figura 9. Dejando de lado un comportamiento variable alrededor de 1960, la evolución de la tasa de crecimiento poblacional sigue una tendencia claramente descendiente, que se mantiene durante el período marcado. De hecho, una proyección lineal simple se ajusta razonablemente a las observaciones y concuerda, hasta cierto punto, con las predicciones del departamento demográfico de las Naciones Unidas hasta el año 2060 [112].

**Figura 65.** Ajuste y pronóstico de la población.

Finalmente, la evolución del PIB se analiza en la figura 10. Se observan claramente dos períodos (anterior y posterior a 2004) con una variabilidad considerable, especialmente antes de 2004. No es posible establecer un modelo para toda la muestra, ni para el período posterior a 2004, ya que una simple tendencia generaría tasas de crecimiento cada vez más negativas, algo improbable. Por tanto, para realizar las simulaciones de esta variable se utilizarán los valores oficiales. No obstante, para realizar simulaciones estocásticas se tendrá en cuenta la alteración de esta variable de la siguiente manera: para la muestra seleccionada en cada caso se estimará la media y los errores correspondientes. Estos errores se utilizarán para determinar la distribución y los posibles valores de la variable, es decir, el PIB. Formalmente, dada una submuestra de tamaño  $n$  obtenida seleccionando aleatoriamente, sin reemplazo, observaciones de la muestra total disponible,  $T$ , la media y los errores del PIB vienen dados por

$$GDP_i = \hat{m} + \hat{\epsilon}_i \quad (5)$$

donde  $\hat{m}$  es la media estimada,  $\hat{\epsilon}_i$  es el error ajustado y  $\{i=1, \dots, n\}$ . Los valores simulados del PIB ahora se derivan mediante muestreo de los valores estimados,  $\hat{\epsilon}_i$ .

**Figura 66.** PIB (tasa de crecimiento).

Probando la validez de estas relaciones, principalmente para la demanda de energía, se considera especialmente su eventual no linealidad. Para analizar esta cuestión se prueban los estimadores no paramétricos de Loess [113] y Nadaraya-Watson [114]. Asimismo, también se estima la regresión cuantil [115]. En ninguno de los tres casos se detecta una relación no lineal significativa: si el modelo es realmente no lineal, entonces la elasticidad variará según los diferentes valores de la variable explicativa, es decir, el PIB, como se puede comprobar fácilmente mediante de una sencilla expansión de Taylor de segundo orden. Sin embargo, lo que se observa es que dependiendo de las muestras, la elasticidad cambia, aunque sólo sea dentro de un intervalo razonablemente limitado. Esta variabilidad de los parámetros del modelo ha sido habitualmente tratada como un problema de heterocedasticidad [116], pero en este caso, este enfoque no es adecuado porque una prueba estadística adecuada no la detecta significativamente. En consecuencia, la estimación en diferentes muestras dará como resultado una elasticidad variable, y por tanto una previsión energética variable, que se tendrá en cuenta en las simulaciones aleatorias de los escenarios analizados hasta 2060.

### 6.3.3 Simulaciones estocásticas

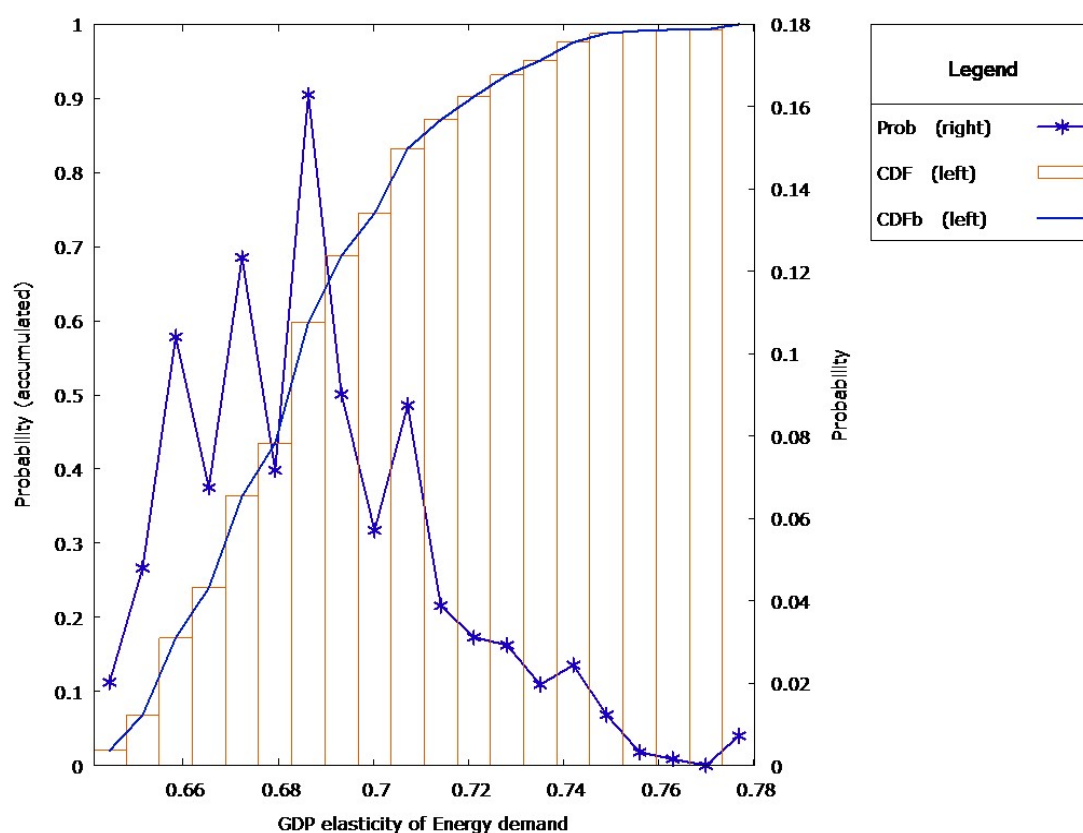
Esta subsección está dedicada a aportar las principales conclusiones de los hallazgos empíricos de este estudio. Las simulaciones se llevan a cabo seleccionando muestras aleatoriamente – repetidamente y de diferentes tamaños– dentro del período mencionado por la base de datos analizada. Más específicamente, los tamaños de muestra de estimación van de 16 a 40



observaciones de la muestra disponible de 57 datos anuales. El número de sorteos en cada caso está directamente relacionado con el tamaño de la muestra. Finalmente, el modelo se simula generando 100 réplicas del PIB como se detalla en la ecuación (5). El número total de simulaciones es superior a  $3 \times 10^5$ , lo que se considera un número adecuado para capturar y estimar la distribución futura de las variables simuladas: la energía y el PIB. Las simulaciones con un número menor de observaciones, por ejemplo, la mitad, generaron un histograma similar para el año 2060. Las ecuaciones estimadas se analizan en la sección 6.3.2 y los valores del PIB se toman de acuerdo con las previsiones oficiales [89].

La razón fundamental para aplicar esta metodología es que permite obtener las propiedades aleatorias de una simulación, y además se justifica por la variabilidad de estimación de los parámetros en la muestra histórica seleccionada. Esto se puede comprobar gráficamente en la Figura 67, donde se muestran los diferentes valores de la elasticidad del PIB de la demanda energética según la muestra estimadora. La figura presenta el histograma y sus valores acumulados para los valores obtenidos de las diferentes estimaciones de elasticidad. Aunque el valor medio es aproximadamente 0,7, la variabilidad es considerable, oscilando entre 0,66 y 0,78. Esta variabilidad se presenta en la distribución final para las simulaciones del modelo, especialmente energía y PIB.

**Figura 67.** Histograma de la elasticidad PIB de la demanda de Energía.



Los principales resultados de las simulaciones se presentan en la Tabla 7. Esta tabla presenta datos de la demanda de energía primaria en PWh. Se puede observar que, en principio, la distribución es bastante simétrica, ya que la media y la mediana están muy próximas. Sin embargo, la variabilidad es considerable, como lo demuestran las medidas de riesgo, en particular el CVaR. Según esta medida, la demanda de energía podría ser casi un 30% superior a la media, aunque con una probabilidad no demasiado alta (5%). En cualquier caso, esta medida da una idea del riesgo claro existente, y aconseja planificar el despliegue de energías renovables por encima de los objetivos marcados para el valor medio.

**Tabla 7. Demanda de Energía Primaria (PWh): Simulaciones estocásticas.**

	2030	2050	2060
mean	55.0	93.3	121.7
median	55.0	93.2	121.2
VaR	59.3	109.2	149.0
CVaR	60.4	113.8	156.6
CVaR (median)	60.1	112.6	155.0

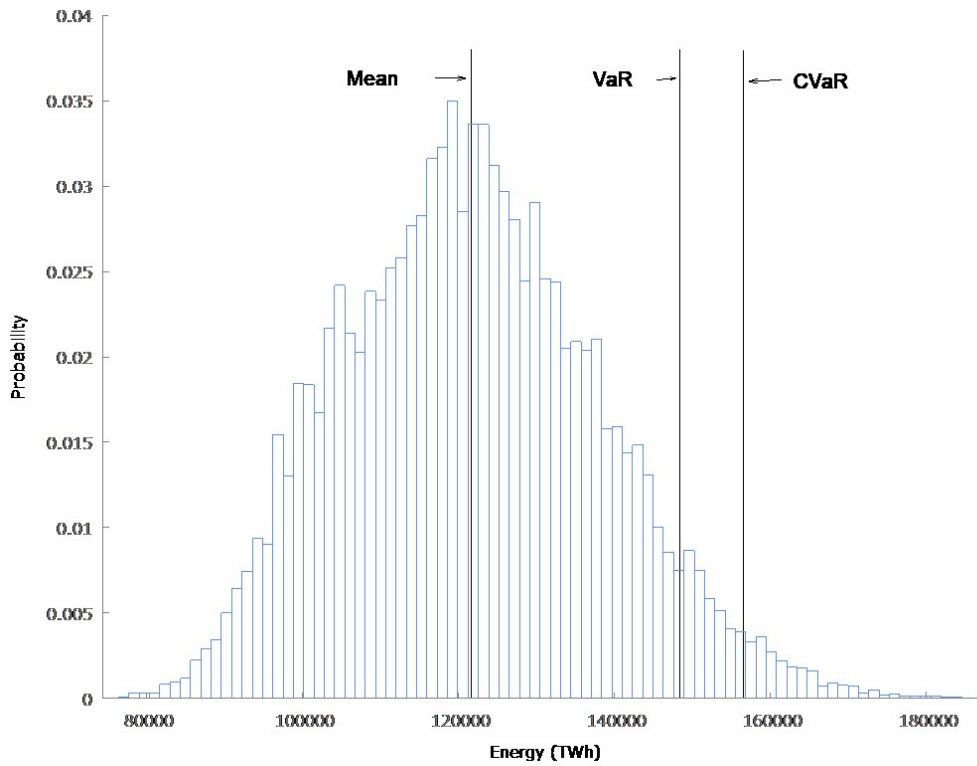
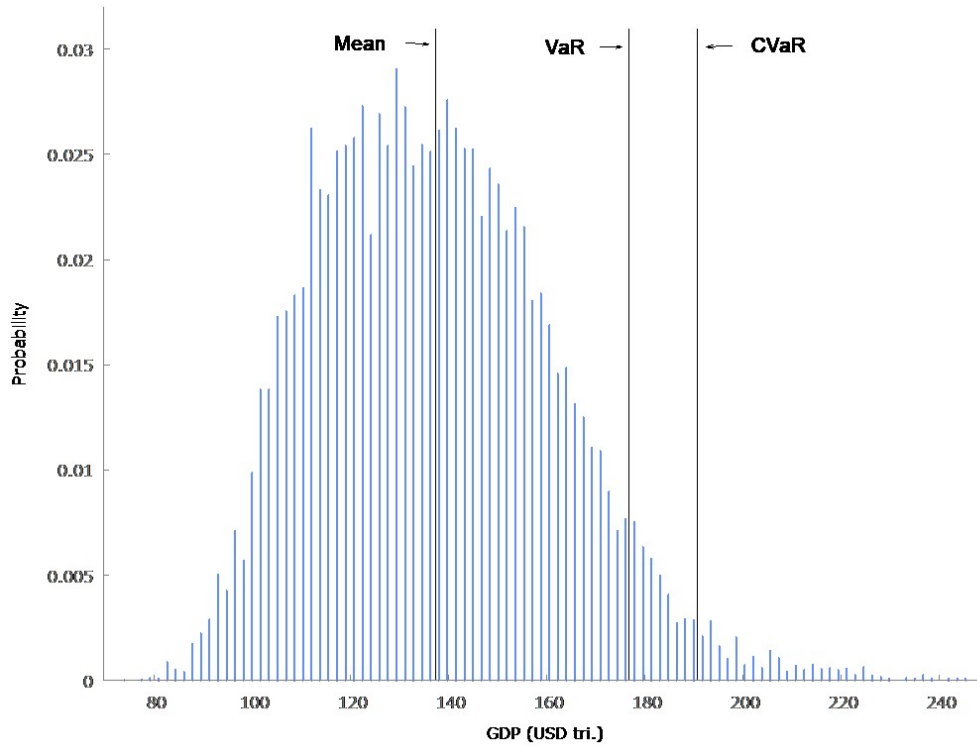
El siguiente tabla 8 presenta los resultados de las simulaciones del PIB. En este caso la variabilidad es mayor, y, de hecho, al comparar el CVaR con la media resulta ser, aproximadamente, un 40% mayor. Estas simulaciones se basan en las proyecciones oficiales del PIB, pero, dado que en las simulaciones se implementa la variabilidad durante el período considerado (ver Figura 66), los posibles valores finales se encuentran dentro de un rango bastante amplio.

**Tabla 8. Producto Interno Bruto (billones): Simulaciones estocásticas.**

	2030	2050	2060
mean	36.6	88.2	137.4
median	36.5	87.7	135.7
VaR	40.0	107.6	177.0
CVaR	41.0	114.2	190.8
CVaR (median)	40.7	112.0	185.9

Notes: trillions USD international PPP constant 2017 prices.

La Figura 68 y la Figura 69, finalmente, reportan los resultados obtenidos y presentados en las tablas anteriores. La Figura 68 muestra el histograma de las simulaciones de energía, en este caso en TWh. El histograma es razonablemente simétrico, como se señaló anteriormente, dada la similitud entre la media y la mediana, aunque las medidas de riesgo revelan una línea derecha bastante alejada de la media; de hecho, algunos valores son bastante extremos, por ejemplo, 180 PWh (aunque con una probabilidad baja).

**Figura 68.** Histograma de la simulación de Energía (2060).**Figura 69.** Histograma de la simulación del PIB (2060).

El histograma del PIB se presenta en la Figura 69; los comentarios son similares. En este caso, la simetría es menos marcada, aunque la similitud entre los valores de la media y la mediana pueda sugerir lo contrario. Cabe destacar que las simulaciones se basan en proyecciones oficiales, aunque la gran variabilidad observada se debe a los errores simulados obtenidos del ajuste de la media en cada muestra de estimación seleccionada.

Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos mediante una simulación estándar del modelo de demanda de energía estimada para toda la muestra ( $t=1, \dots, T$ ), es decir,

$$\alpha(L)\log(E_t) = \beta_0 + \beta_1(L)\log(GDP_t) + \beta_2(L)\Delta\log(Pop_t) + \varepsilon_t \quad (6)$$

Simulando esta ecuación hasta el año 2060, condicionada a las previsiones oficiales del PIB y a las proyecciones de población de la ONU [112], se obtienen 142,5 billones de dólares de PIB y 125,5 PWh de energía primaria. Estos valores son algo mayores que los reportados en las Tablas 7 y 8. Además, la distribución estocástica de las simulaciones sólo puede derivarse bajo supuestos adicionales sólidos sobre el modelo especificado.

La importancia de estos resultados y sus implicaciones se analizan en la siguiente Sección 6.4.

## 6.4 Discusión

En 2020, el gobierno chino anunció su compromiso de alcanzar la neutralidad de carbono en 2060. Posteriormente, varias instituciones oficiales presentaron hojas de ruta específicas, por ejemplo, [89,90,91]. Para llevarlo a cabo, en primer lugar, se utilizaron proyecciones de demanda de energía en todos los años correspondientes desde el presente hasta 2060, inclusive. Por lo tanto, resulta adecuado comparar estas previsiones oficiales con los resultados de la sección 6.3. Podemos observar tres escenarios posibles [91], donde la Tabla 9 presenta uno de ellos; el más ambicioso teniendo en cuenta que implica una mayor proporción de energía renovable (consulte la Tabla B.2.1. en el Apéndice B.2. para obtener más detalles sobre la hoja de ruta específica a lo largo de los años y un desglose de tipos de energía). En el apéndice B.2., Tabla B.2.2., también se presenta un pronóstico de la trayectoria de emisiones de CO2 compatible con el objetivo de 1,5 °C, en línea con el Escenario Urgente Verde analizado a continuación.

**Tabla 9. Escenario Urgente Verde (GUS) de China 2060.**

	2020	2060
Fossil sources	426.5	86.7
(%)	85.1	15.1
Renewable sources	74.7	487.2
(%)	14.9	84.9
Total	501.2	573.9

Notes: Units—10 b. tons of standard coal.

Aunque las unidades utilizadas por las estadísticas oficiales chinas son diferentes de las

habituales en las organizaciones internacionales, se puede ver inmediatamente que el aumento de la energía primaria del año 2020 a 2060 es, aproximadamente, del 14%—(573,9/501,2) —  $1 \cong 14\%$ . Esto contrasta claramente con los valores obtenidos en los resultados del apartado empírico, donde se pronosticaba un aumento cercano al 200% en la demanda de energía primaria entre esos años. El objetivo de esta sección es discutir si esta gran discrepancia puede cubrirse y, por tanto, si los planes oficiales chinos son realizables.

En primer lugar, cabe destacar que las predicciones del apartado empírico 6.3.3 se refieren a energía primaria, pero hay que implementar una conversión a energía final, ya que los combustibles fósiles pierden una gran cantidad de energía potencial en los procesos de combustión; energía no recuperable, en general. Con las ER ocurre todo lo contrario, debido a que su potencia se convierte inmediatamente en electricidad y, por tanto, las pérdidas son mínimas. Los factores de conversión de energía primaria a energía final son discutibles, pero los más aceptados por organismos internacionales como Irena [117], la AIE [118] y la Unión Europea [119] oscilan entre el 50% y el 60%. Con estos valores, y teniendo en cuenta que la proporción de ER en el plan analizado en la Tabla 9 es aproximadamente del 85%, la energía final (FE) involucrada en este plan, según las previsiones de los resultados empíricos, sería la siguiente:

$$FE < -121 \times 0.85 \times 0.55 + 121 \times 0.15 = 74.717 \quad (7)$$

La energía primaria final simulada, en promedio, para el año 2060 (Tabla 7) es 121 PWh. El resultado obtenido, por tanto, es de, aproximadamente, 75 PWh. Para evaluar este valor, podemos aplicar el aumento del 14% de energía asumido en el plan de la Tabla 9 a la energía efectivamente consumida en 2020, que genera aproximadamente 47 PWh. Restando esta cifra a la previsión anterior, es decir, 75 PWh, se obtiene el siguiente valor:  $74,717 \text{ PWh} - 47,310 \text{ PWh} = 27,407 \text{ PWh}$ . Esta cifra implica un exceso de demanda de aproximadamente un 50% sobre la energía prevista.

La pregunta ahora es si este exceso de demanda de energía puede explicarse mediante ahorros y otras medidas de mayor eficiencia. Para discutir esta cuestión, se puede recurrir a un estudio mundial realizado por [120]. En él, los autores consideran una serie de medidas de eficiencia y ahorro que se pueden clasificar en tres grandes categorías: a) cambios en los patrones de alimentación y transporte; b) despliegue de energías renovables con un aumento en la participación de los prosumidores; y c) ganancias de eficiencia en edificios y telecomunicaciones. Con estos tres tipos de medidas, se concluye que se podría ahorrar un 40% adicional en la demanda energética. Aplicando esta reducción a la cifra obtenida anteriormente de 74,7 PWh, se obtiene un valor final de 44,8 PWh, que ya es inferior al valor previsto de 47,3 PWh. Por lo tanto, suponiendo que estos ahorros y ganancias de eficiencia puedan concretarse, el plan de la Tabla 9 presentado por el gobierno chino sería factible.

Sin embargo, conviene subrayar también una serie de advertencias a este respecto. En primer lugar, el ahorro asumido en [120] incluye el despliegue de ER, algo que ya se considera en la primera transformación que se ha llevado a cabo en este apartado, hasta alcanzar la cifra de

74,7 PWh. En segundo lugar, este plan incluye cambios significativos en los patrones de demanda, especialmente en la dieta y el transporte, lo cual requeriría un cambio en las preferencias de los consumidores, o al menos una modificación en las infraestructuras de transporte para que sea posible sustituir el transporte privado por el transporte público. En tercer lugar, el plan supone un despliegue rápido y acelerado de las energías renovables (aunque teniendo en cuenta el desempeño anterior de la economía china, se podría suponer que este sería el aspecto menos problemático). En cuarto y último lugar, cabe señalar que en este análisis partimos de una previsión de demanda media, pero esta previsión es aleatoria y, de hecho, existe una probabilidad nada desdeñable de que la demanda final resulte muy superior, como se señala en la Tabla 7 de la Sección empírica 6.3.3. Por tanto, lo ideal sería planificar una demanda que podría ser significativamente mayor para garantizar que se alcancen los objetivos de una economía neutra en carbono.

A modo de resumen, la principal cuestión a destacar es que será necesario cambiar los hábitos y patrones de consumo de la sociedad para alcanzar los objetivos de descarbonización. Esto puede parecer peligroso desde un punto de vista político, pero resulta interesante observar la investigación de [121], donde se muestra que muchos de los cambios en la demanda que son necesarios para reducir las emisiones de carbono mejorarían la utilidad de cara a los individuos.

Aunque la principal conclusión obtenida en este estudio como respuesta a la pregunta inicial de investigación (es decir, la viabilidad del objetivo de neutralidad de carbono en 2060), es positiva y similar a la de otros estudios académicos [93,94,95,96], la metodología es muy diferente. En primer lugar, esos estudios se basan en series anuales cortas (un máximo de 20 años, en comparación con los 57 utilizados aquí). Además, los estudios mencionados incorporan los supuestos de eficiencia [93] o reducción de emisiones [95] en el modelo de previsión de una forma u otra. El enfoque aquí seguido, por el contrario, consiste en una estimación y proyección de la demanda esperada de forma independiente, y sólo a partir de ahí se ha llegado a esta conclusión, analizando la necesaria expansión de las ER y los ahorros en el consumo de energía, así como los cambios en el estilo de vida. El estudio de [97] se basa en una metodología cuantitativa diferente, y aunque expresa ciertas dudas sobre la viabilidad del objetivo de neutralidad para el año 2060, este sólo llega hasta 2026. El estudio de [100], en cambio, aunque no aborda directamente la proyección de la demanda de energía, es relevante y complementario a todos los demás, incluido este estudio, en la medida en que destaca la necesidad crítica de minerales raros.

## 6.5 Conclusiones

El propósito de este estudio es estimar la demanda de energía primaria de China en 2060 y evaluar la viabilidad de alcanzar los objetivos de neutralidad de carbono anunciados por el gobierno chino. Para ello, se estima un modelo de demanda de energía primaria mediante un método novedoso, que permite obtener la distribución estadística de la demanda en el año 2060. Esto, a su vez, permite llevar a cabo un análisis completo de riesgos, debido a la incertidumbre asociada a la distribución aleatoria, y superar el análisis de sensibilidad estándar basado en escenarios concretos. En segundo lugar, el modelo se basa en largas series históricas de fuentes

internacionales fiables. La primera conclusión que se obtiene es que la demanda energética esperada, en principio, es muy superior a la prevista oficialmente por China. Sin embargo, teniendo en cuenta los planes de expansión de las energías renovables de hasta el 85%, esta discrepancia se reduce a sólo un 50% más que la previsión oficial. Si se suman ahorros factibles y ganancias de eficiencia basadas principalmente en cambios en los patrones de transporte y estilos de alimentación según investigaciones internacionales, este exceso podría reducirse en casi un 40% adicional. El resultado final de estos cálculos se traduciría en que la demanda esperada de energía primaria, en promedio, podría estar dentro del rango de las previsiones oficiales. Sin embargo, se refiere al valor promedio, y existe una probabilidad pequeña pero no desdeñable –concretamente del 5%– de que la demanda final sea hasta un 30% mayor que la demanda promedio esperada.

De este análisis se pueden extraer varias conclusiones: en primer lugar, para lograr este objetivo es necesario un compromiso político fuerte e inquebrantable, dirigido a acelerar la transformación renovable, así como a modificar patrones de comportamiento; especialmente en lo que respecta al transporte y los hábitos alimentarios. Además, dado que estas conclusiones se refieren sólo a valores promedio, la velocidad de implementación de las energías renovables debe ser aún mayor si se quiere reducir el riesgo de exceso de demanda. La intensidad y magnitud del esfuerzo requerido para lograr este objetivo exige varios aspectos adicionales, como también lo señalan tanto los planes oficiales chinos como los organismos internacionales, por ejemplo, la AIE y el Irena.

Tampoco se pueden infravalorar los riesgos que implican los actuales acontecimientos internacionales. Específicamente, la guerra de Ucrania subraya la necesidad de lograr la independencia energética y, dada la falta de recursos fósiles propios, apunta a un despliegue acelerado de energías renovables como la única salida. La presión social para recuperar los niveles de crecimiento anteriores a la pandemia es también otro riesgo importante, en la medida en que puede llevar a elegir la salida más fácil a corto plazo; es decir, aumentar el desarrollo relacionado con el carbón [122].

Desde la perspectiva de los objetivos de desarrollo sostenible, la postura china subraya la transición de un crecimiento simplemente material a un crecimiento de calidad centrado en el bienestar de las personas y el medio ambiente. Esto también puede servir de ejemplo, desde el punto de vista político, para otros países. Más concretamente para otros países en desarrollo, ya que se desprenden varias lecciones de estos resultados: primero, la necesidad de acelerar el despliegue de energías renovables y evitar todo tipo de presiones a corto plazo para seguir consumiendo recursos fósiles. En segundo lugar, para garantizar la seguridad energética, se debe reducir la dependencia de los combustibles fósiles lo más rápido posible. Y, en tercer lugar, el enfoque en el crecimiento de la calidad en lugar del simple crecimiento material, junto con cambios en la dieta y el consumo de la demanda.

En cuanto a las limitaciones de este estudio, la principal podría derivar de sus propias ventajas, que es el uso de series históricas extensas, pero agregadas. Así, la ampliación más prometedora de este estudio consistiría en combinar las series históricas aquí utilizadas con series

desagregadas; por ejemplo, por tipo de energía o por provincia, pero mucho más cortas, como las utilizadas por otros investigadores. Combinar ambas fuentes de información permitiría obtener resultados más fiables, aunque la metodología para hacerlo sólo está disponible de forma limitada. Otro aspecto a desarrollar es la estimación de modelos alternativos, y específicamente dinámicos, en lugar del enfoque de equilibrio adoptado. Este enfoque puede implicar inestabilidades, pero si son resueltas podría ofrecer un punto de contraste con los resultados presentados. Finalmente, el método de estimación y la metodología de selección de las muestras es otro punto que merece ser desarrollado.

Todos estos aspectos abren una nueva línea de investigación que permitiría también la implementación de esta metodología recién presentada a otras regiones y países.



## 7. Conclusión

La creciente dependencia humana de los recursos naturales ha llevado a un constante aumento en el consumo de energía. Sin embargo, los problemas ambientales, climáticos y ecológicos derivados de la quema de energía fósil, han tenido un impacto significativo en la vida cotidiana de las personas. Sumado a las limitaciones de la vida útil de los recursos naturales, esto ha impulsado no sólo el reconocimiento, sino también el apoyo mundial al desarrollo de energías renovables. Desde la perspectiva de la sostenibilidad renovable y ambiental, la energía renovable se ha convertido en un recurso altamente valorado a nivel global, por lo que, actualmente, esta es una de las cuestiones más influyentes y demandadas.

En el contexto de la tensa situación internacional y el problema energético derivado de la guerra entre Rusia y Ucrania, este estudio examina las causas subyacentes, concluyendo que la esencia de la mayor parte de los problemas sociales en el mundo radica en cuestiones económicas. Se destaca, de este modo, la competencia existente entre los países por los recursos energéticos como un factor clave, resaltando la importancia del tema abordado en esta tesis. Posteriormente, se exploran las implicaciones energéticas de estos eventos mundiales recientes, y se lleva a cabo una investigación detallada sobre las principales fuentes de energía tradicionales. Se abordan las contradicciones asociadas al carbón, la proyección del papel del gas natural en la transición del sistema energético tradicional a uno basado en energías renovables, y la búsqueda de alternativas al petróleo (como los vehículos eléctricos).

A través del análisis del crecimiento de la energía renovable en el consumo total de energía a nivel mundial, se subraya la importancia de la primera, identificando los tipos más prometedores y haciendo una predicción sobre su desarrollo futuro. Debido a su amplia distribución de recursos, su gran potencial de desarrollo, su reducido impacto ambiental y su sostenibilidad, las energías renovables, como la solar y la eólica, emergen como puntos focales en el desarrollo energético dentro de la construcción sostenible de una sociedad. Basándose en el estudio de datos de producción y consumo de energía sostenible en diversas potencias europeas, se analizan en detalle las principales causas que influyen en la variación de precios y costos de instalación de la energía solar y eólica. En el caso de la energía solar, factores como la capacidad de instalación de paneles fotovoltaicos, el costo de instalación del año anterior y los precios de materias primas como el silicio y el hormigón afectan de manera opuesta al costo de instalación. En el caso de la energía eólica, se emplean modelos econométricos para examinar factores como la capacidad de instalación de turbinas eólicas de dos años atrás, que afecta negativamente el costo de instalación del año anterior y positivamente al costo de instalación del año actual.

A partir de la investigación y el análisis previos, la autora aclara la importancia y viabilidad del desarrollo energético sostenible. Por esta razón, se examina detalladamente el marco de la política energética sostenible europea y se centra en el análisis de las políticas nacionales efectivas formuladas por Alemania. Esto proporciona asesoramiento y orientación a España en

materia de políticas para el desarrollo energético sostenible, con el objetivo de alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por dicho país.

Tras analizar y estudiar numerosas políticas energéticas sostenibles europeas y sus ejemplos destacados en el capítulo anterior, la autora concluye que, en la actualidad, la descentralización energética se posiciona como el plan de promoción más efectivo y práctico a nivel mundial. En consecuencia, se realiza una investigación exhaustiva sobre el tema en cuestión en el capítulo 4. En él, se clarifican primero los conceptos y definiciones clave, y posteriormente se analiza la situación actual de desarrollo de la energía descentralizada; abordando la etapa actual de desarrollo, así como los desafíos y oportunidades, entre otros aspectos. A continuación, se examina el desarrollo de la energía distribuida en países concretos de cada continente, extrayendo características, tipos y conclusiones específicas de estos casos particulares. Se incluyen países de Europa (Alemania, España, Polonia, Reino Unido, Italia o Francia), América (EE.UU.), Oceanía (Australia), Asia (Japón, Nepal, India, China) y África. A continuación, basándonos en los casos reales anteriores, se analizan los impactos multifacéticos de la energía descentralizada, ya sean económicos, sociales o ambientales (4.5), así como los desafíos y oportunidades que presentan (4.6). A continuación, la autora organiza las regulaciones gubernamentales (4.7) y las aplicaciones relevantes (4.8). Finalmente, a partir de la investigación anterior, se extraen varias conclusiones (4.10), sugiriendo que la descentralización energética puede ser una estrategia efectiva para alcanzar los objetivos energéticos y generar un impacto positivo en los aspectos económicos, sociales y ambientales.

Después de examinar el desarrollo de la energía descentralizada en todo el mundo en la sección anterior, la autora concluye que se completará la investigación global sobre la energía descentralizada, distribuida y comunitaria al abordar la situación energética concreta en China. De este modo, partiendo de la composición de energía en China (56.8% de carbón, 18.9% de petróleo, 8.4% de gas natural y 15.9% de energía no fósil) y las condiciones nacionales del consumo de energía (abundancia de carbón y escasez de petróleo y gas), se estudia el estado de desarrollo de las energías renovables. China está llevando a cabo un desarrollo diligente en cuanto a las energías renovables, siempre con el respaldo de políticas gubernamentales centrales y locales; siguiendo la dirección estratégica de desarrollo del país. Además, se abordan los problemas energéticos que enfrenta, como la distribución desequilibrada entre la zona oeste y la zona este en términos de suministro y consumo. A través de una investigación vertical y sistemática, donde se incluye el estado de desarrollo, los modelos de generación de energía, las razones del rápido desarrollo, los factores influyentes y las ventajas e inconvenientes, la autora descubre que en China no existe una comunidad energética entendida como en Europa, sino una energía descentralizada basada en las condiciones nacionales del país para llevar a cabo el plan de desarrollo de energía sostenible. Para cerrar el capítulo, se complementa de forma horizontal la investigación sobre la generación de energía solar en China con el desarrollo de la *Concentrated Solar Power (CSP)*.

La tesis doctoral concluye con un estudio detallado sobre el Plan de Carbono Neutral anunciado por las autoridades chinas, que busca realizar una transición hacia una economía prácticamente neutral en carbono para el año 2060. Este capítulo tiene como objetivo estimar la demanda de

energía primaria de China en 2060 y evaluar la viabilidad de alcanzar los objetivos de neutralidad de carbono anunciados por el gobierno. Para lograr esto, se utiliza un método novedoso con el propósito de estimar un modelo de demanda de energía primaria, permitiendo obtener la distribución estadística de la demanda en 2060. Esto posibilita un análisis completo de riesgos, superando el análisis de sensibilidad estándar basado en escenarios concretos. El modelo se basa en largas series históricas de fuentes internacionales fiables. Los resultados indican que la demanda esperada de energía primaria, en promedio, podría estar dentro del rango de las previsiones oficiales. Así mismo, se extraen varias conclusiones del análisis.

En primer lugar, se destaca la necesidad de un compromiso político sólido y estable para acelerar la transformación renovable y modificar patrones de comportamiento, especialmente en transporte y hábitos alimentarios. Además, se subraya que la velocidad de implementación de las energías renovables debe ser aún mayor para reducir el riesgo de exceso de demanda. El esfuerzo requerido para lograr este objetivo exige diversos aspectos adicionales, según los planes oficiales chinos y organismos internacionales como la AIE y el IRENA. Desde la perspectiva de los objetivos de desarrollo sostenible, la postura china destaca la transición hacia un crecimiento centrado en el bienestar de la población y del medio ambiente, lo que podría servir como ejemplo (en el ámbito político) para otros países, especialmente para aquellos en desarrollo. Por lo que las lecciones aprendidas y las limitaciones de este estudio abren nuevas líneas de investigación en otras regiones y países.

La tesis se enfoca en el desarrollo de la energía sostenible, destacando su importancia. Además, aborda varios temas de actualidad e impacto social en relación con la energía renovable. El principal objetivo es proporcionar un valor de referencia y contribuir a la promoción de la energía sostenible y el plan energético internacional.



## 8. Apéndice A

Apéndice A.1. Tablas de comparación del coste total de la instalación de energía solar fotovoltaica a gran escala de China con otros países de Europa y USA.

Tabla A.1.1 Coste total de la instalación de energía solar fotovoltaica a gran escala en países seleccionados, en 2021<sup>63</sup> (*Utility-scale solar PV total installed cost in selected countries*).

País	2021 USD/kW
India	589,57
China	628,15
Vietnam	690,38
Alemania	693,54
Italia	784,84
Francia	808,19
Turquía	810,00
España	815,85
UK	848,01
Corea	940,41
Holanda	1022,09
Australia	1023,02
Ucrania	1034,96
EE.UU	1085,49
Japón	1693,22

Tabla A.1.2 Coste promedio ponderado de la electricidad solar fotovoltaica a gran escala en países seleccionados, 2021<sup>64</sup>. (*Utility-scale solar PV weighted average cost of electricity in selected countries, 2021*).

País	2021 USD/kWh
China	0,034
India	0,035
Australia	0,042
Vietnam	0,046

<sup>63</sup> Fuente: IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2021 Report.

<https://irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>

<sup>64</sup> Fuente: IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2021 Report.

<https://irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>

España	0,048
Francia	0,049
Italia	0,051
EE.UU	0,055
Corea	0,056
Alemania	0,061
Turquía	0,064
UK	0,069
Holanda	0,078
Japón	0,086
Ucrania	0,117

## Apéndice A.2 Casos del desarrollo de energía solar en varias regiones de China

### A.2.1. Casos de generación de energía fotovoltaica descentralizada

#### Caso de la ciudad Tongxiang

La ciudad de Tongxiang, como una de las primeras áreas de desarrollo de la generación de energía fotovoltaica distribuida en la provincia de Zhejiang, tomó medidas de inmediato y propuso una estrategia de instalación de la totalidad de equipos para promover la generación de energía fotovoltaica distribuida en toda la ciudad. Inmediatamente después, varias empresas lanzaron políticas preferenciales para arrebatarle usuarios, incluyendo una lista de ingresos por inversiones, 25 años de mantenimiento gratuito, etc. La capacidad instalada era de 10 kilovatios, el área de 50 metros cuadrados y la potencia de generación de energía diaria promedio de 60 kWh. La generación de energía anual, 21 900 kWh, la tarifa de compra de electricidad (incluidos los subsidios estatales), 0,48 yuanes, el ingreso anual estimado, 10 512 yuanes, la inversión estimada, 30 000 yuanes, el período de recuperación de costes, 3 años, y los ingresos de alrededor de 20 años, unos 210 240 yuanes. Algunos de estos anuncios exageran las ganancias y acortan el período de recuperación. Equivaldría a comprar un producto financiero con una tasa anualizada de más del 30 %.

**Tabla A.2.1**

Lista de ingresos por inversión de generación de energía fotovoltaica descentralizada en el hogar fotovoltaico de Zhongxing							
Superficie (M <sup>2</sup> )	Generación de energía diaria promedio (Kwh)	Generación de energía anual estimada (Kwh)	Tarifa de compra de electricidad/yuan (incluidos los subsidios estatales)	Ingreso anual estimado (yuan)	Importe de inversión estimado (yuan)	Período de recuperación de costes (años)	Ganancias después de 20 años
50	60	21900	0,48	10512	30000	3 Años	210240

75	90	32850	0,48	15768	45000	3 Años	315360
100	120	43800	0,48	21024	60000	3 Años	420480
150	180	65700	0,48	31536	90000	3 Años	630720
200	240	87600	0,48	42048	120000	3 Años	840960
250	300	109500	0,48	52560	150000	3 Años	1051200
300	360	131400	0,48	63072	180000	3 Años	1261440
500	600	219000	0,48	105120	300000	3 Años	2102400

La verdad, no es tan rentable. En el pueblo de Maning, ciudad de Tongxiang, el aldeano Shen Jianxue tomó un préstamo de 58 300 yuanes para instalar energía fotovoltaica en la azotea en 2016. Después de varios años, ¿ha ganado algo de dinero? Según él, pierde alrededor de 1200 yuanes al año, y necesita devolver 636 yuanes al mes por el préstamo, es decir, si los ingresos de la generación de energía son inferiores a esta cantidad, perderá dinero (este es el estado normal de recuperación de la cantidad invertida). De acuerdo con la eficiencia de generación de energía actual y el precio de la electricidad, se necesitan 10 años y 5 meses para recuperar la inversión. De hecho, invertir en energía fotovoltaica equivale, en realidad, a adquirir un producto financiero de inversión. Según Xu Bing, director del departamento de trabajo de la Oficina de Desarrollo y Reforma de la ciudad Tongxiang (provincia de Zhejiang), con sede en Shanghái, se estima que el capital se puede recuperar en uno 11 a 12 años. Después de eso, el coste de la electricidad de la generación de energía fotovoltaica es todo ganancia. Según Zhu Guoliang, director del Centro de Servicios de Promoción de Inversiones del pueblo de Zhouquan, ciudad de Tongxiang (provincia de Zhejiang), algunos agricultores están preocupados porque la publicidad de la empresa de instalación fotovoltaica en la etapa inicial ha exagerado los ingresos esperados, que distan mucho de la realidad, al igual que en el tiempo de retorno de la inversión.

Cuando el pueblo Maning instaló energía fotovoltaica en 2016, la industria fotovoltaica nacional estaba en la última ronda de auge de desarrollo (el estado abogó claramente por el desarrollo de esta industria). Para los hogares que instalaron energía fotovoltaica, los subsidios del estado y de la provincia de Zhejiang alcanzaron su punto máximo en 2016, y para la energía fotovoltaica que estaba conectada a la red pública, el precio vendido a State Grid era de 1,08 yuanes por kilovatio hora. En ese momento, una gran cantidad de empresas inundaron la ciudad de Tongxiang para apoderarse de la riqueza de la cubierta. Muchas empresas instalan o retoman negocios íntegramente con fondos de subvenciones estatales, pero es posible que se abandonen después de recibir el subsidio. Surgir estos problemas, la ciudad de Tongxiang lanzó una política de presentación de empresas fotovoltaicas en agosto de 2017. Para el capital registrado de las empresas de instalación fotovoltaica, se ha limitado la composición de personal, incluidos el nivel de servicio, la adquisición de módulos fotovoltaicos, la calidad, etc.

Posteriormente, el 31 de mayo de 2018, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma, el Ministerio de Hacienda y la Administración Nacional de Energía emitieron un aviso sobre asuntos relacionados con la generación de energía fotovoltaica en 2018. Uno de los puntos más importantes es "acelerar la disminución de los subsidios a la generación de energía fotovoltaica y reducir la intensidad de los subsidios". Las más de 50 empresas de la ciudad de Tongxiang se

han reducido en más de 20 empresas registradas, el mercado está más estandarizado y los riesgos también se reducen. El subsidio ha disminuido y, por supuesto, también hay menos agricultores que instalan energía fotovoltaica. Según la residente local, Qiang Liying, que instaló energía fotovoltaica en 2018, su familia optó por alquilar la azotea, por lo que puede obtener alrededor de 1000 yuanes de ingresos cada año.

Según las estadísticas de la Oficina de Desarrollo y Reforma de ciudad Tongxiang, a finales de junio de 2021, los agricultores de la ciudad cuentan con una capacidad instalada acumulada de 78 000 kilovatios de energía fotovoltaica descentralizada, un 19,9 % de la capacidad instalada de energía fotovoltaica descentralizada en la ciudad de Tongxiang. La mayoría son usuarios de empresas industriales y comerciales; representando el 81,1 %.

Ya el 7 de junio de 2013, la ciudad de Tongxiang (provincia de Zhejiang), emitió un documento para animando a que las empresas industriales y comerciales de la ciudad instalasen energía fotovoltaica descentralizada bajo ciertas condiciones. Tongxiang es una ciudad industrial fuerte, tradicional, y también una gran consumidora de energía. El consumo de energía de las empresas industriales y mineras representa un porcentaje muy alto en el consumo total de energía de toda la ciudad. Después de entrar en la etapa de desarrollo de nuevas energías, es difícil mantener un modelo de desarrollo de alto crecimiento que se base en un alto consumo de energía. Por lo tanto, el secretario del Comité Municipal del Partido de Tongxiang, considera que la energía fotovoltaica descentralizada es el camino principal para optimizar la estructura energética de Tongxiang. La ciudad alberga más de 1200 empresas por encima del tamaño designado en los principales grupos de industrias, y hay mucha presión sobre el ahorro de energía y la reducción de emisiones. Por tanto, existen claras dificultades para que las empresas fotovoltaicas logren los resultados esperados.

#### **Caso de la compañía Zhejiang Xinao Co., Ltd.**

Zhejiang Xinao Co., Ltd. es una de las primeras empresas en probar la energía fotovoltaica. Desde 2014 hasta el presente, todas las cubiertas calificadas de los talleres de esta empresa han sido instaladas con estaciones de energía fotovoltaica. Según Hua Xinzhong, gerente general de la empresa, el costo se reducirá en 3,5 millones de yuanes desde la instalación hasta 2021. De 2015 a 2021, la generación de energía ha sido de 33 millones de kWh, alcanzando casi las 10 000 toneladas de carbón estándar. Es decir, en los últimos años, esta empresa ha utilizado 10 000 toneladas menos de carbón estándar, lo que equivale a reducir las emisiones de dióxido de carbono en más de 26 000 toneladas. Este beneficio ambiental es también uno de los objetivos de la ciudad de Tongxiang para incentivar el desarrollo de la energía fotovoltaica.

#### **Caso de la compañía Zhejiang Lamborghini Weaving Co., Ltd.**

Del mismo modo, Zhejiang Lamborghini Weaving Co., Ltd. también tomó la iniciativa de usar la PV. La ciudad donde está ubicada es la base de la industria nacional de suéteres de lana y su producción representa el 70 % del suéter de lana nacional. Estas fábricas consumen mucha energía, y las enormes fábricas también son un buen lugar para instalar paneles fotovoltaicos en los tejados. Además de los ingresos y la reducción de las emisiones de carbono, el encargado de la empresa Xie Guoliang también descubrió que la energía fotovoltaica aislará la planta, lo



que puede reducir la temperatura en la planta en verano. Así, decidió instalar más de 8000 metros cuadrados de energía fotovoltaica en la cubierta de la nueva planta, lo que podría proporcionar alrededor del 30 % del consumo eléctrico total de la planta. Al mismo tiempo, no fue necesario invertir mucho dinero, porque optó por la modalidad de alquiler de tejados a empresas fotovoltaicas. Este método de cobrar la renta del tejado y utilizar la electricidad generada por la energía fotovoltaica, se ha convertido en la elección de la mayoría de las empresas locales, ya que puede reducir los riesgos y movilizar la iniciativa y la eficacia a largo plazo de los servicios de mantenimiento de las empresas fotovoltaicas.

Ahora, el gobierno municipal de Tongxiang está decidido a promover la energía fotovoltaica descentralizada en toda el área, pero Qi Li, secretario del Comité del Partido Municipal de Tongxiang, enfatizó que no se deben instalar todos los techos. En este proceso, necesitamos hablar de ciencia y seguir las normas. Debido a que factores como la instalación de energía fotovoltaica en el techo y la carga de toda la línea deben coincidir, no se puede adoptar un método único para todos, ya que se produciría un fenómeno parecido a una ráfaga de viento. Después de 9 años de exploración, la ciudad de Tongxiang ha encontrado un camino de desarrollo fotovoltaico descentralizado que se adapta a las condiciones locales: dirigido por el mercado principalmente, guiado por el gobierno, avanzado y ordenado y construido de forma estandarizada.

### **Caso de Taihuyuan**

En la zona de Hangzhou, provincia de Zhejiang, hay una pequeña ciudad a solo 100 kilómetros de Tongxiang, llamada Taihuyuan, distrito de Lin'an. Es una famosa ciudad fotovoltaica que se construyó y que generó electricidad en 2016. En ese momento, la Comisión Provincial de Desarrollo y Reforma tomó la iniciativa de promover el piloto de ciudades fotovoltaicas en la provincia de Zhejiang. Todos los fondos (de 6 millones de yuanes) fueron asignados por el gobierno nacional, y el distrito de Lin'an atrajo una inversión de 20 millones de yuanes. Se utilizan, principalmente, los techos sin usar de la población para la construcción de paneles fotovoltaicos, lo que hace que los ingresos estables de la factura de electricidad anual puedan elevar los ingresos de la población. En ese momento, había 513 hogares con una capacidad instalada total de 2000 kilovatios. Según el área de instalación de cada vecino, cada hogar puede obtener un ingreso adicional de 700 a 800 yuanes por año, y el ingreso más alto puede llegar a alcanzar los 3000 o 4000 yuanes. Sin embargo, desde 2016, solo 373 agricultores más han instalado energía fotovoltaica en la azotea. Además, después de la prueba piloto, el distrito de Lin'an no ha replicado la ciudad fotovoltaica de Taihuyuan en otras ciudades.

Debido a que los paneles fotovoltaicos están en proceso de desarrollo y avance, existen muchos problemas que han de resolverse; como algunos efectos negativos en la apariencia del pueblo, problemas ocultos de seguridad y problemas perennes de operación y mantenimiento. Por supuesto, encontrar problemas es el valor de un piloto. Debido a que los 18 pueblos del distrito de Lin'an están ubicados en las montañas, la estructura de la casa, la orientación del techo y las condiciones de iluminación varían ampliamente. Es decir, copiar a ciegas la ciudad de Taihuyuan no tiene mucho sentido. Más bien, se necesita tomar un camino de crecimiento y de forma profunda.

Ejemplificando, existen 28 paneles fotovoltaicos instalados en el bosque de bambú de 2 000 000 metros cuadrados. Cada uno genera 40 vatios de electricidad (1680 vatios al año), ahorrando facturas de electricidad de más de 1000 yuanes y millones de yuanes en comparación con la inversión en electricidad tradicional. Aparte, estos paneles fotovoltaicos no ocupan espacio y están dispersos en el bosque de bambú.

Por lo tanto, el proceso de desarrollo fotovoltaico en la región debe estar altamente integrado con la industria local, y, al mismo tiempo, es necesario considerar la situación del consumo local. Si está más integrado con esta industria, el valor que tendrá será mayor, al igual que el entusiasmo de la gente.

#### A.2.2. Casos de generación de energía fotovoltaica centralizada

##### **Caso 1**

El Parque Eco-PV, en la Prefectura Autónoma Tibetana de Hainan (provincia de Qinghai), fue certificado por *Guinness World Records* el 26 de junio de 2022, convirtiéndose en la mayor capacidad instalada del mundo de parques de generación de energía fotovoltaica y la mayor capacidad instalada del mundo de centrales hidrosolares complementarias.

En Tala Beach, condado de Gonghe, prefectura autónoma tibetana de Hainan (provincia de Qinghai), la capacidad instalada total es de 15 730 megavatios, con una generación de energía anual promedio de 10 000 millones de kWh y una reducción de las emisiones de dióxido de carbono de 7,8 millones de toneladas.

**Figuras 12 y 13.**





## Caso 2

En el condado de Dengkou, Región Autónoma de Mongolia Interior, esta central eléctrica fotovoltaica de 1.13 millones m<sup>2</sup> (1.13 km<sup>2</sup>), en el desierto de Ulan Buhe, refleja la exploración realizada por numerosos ingenieros para utilizar racionalmente la energía solar en el desierto. Produce más de 70 millones de kWh de generación de energía cada año, que pueden abastecer el suministro de casi 20 000 hogares durante un año. Y, más importante aún, esperan encontrar una manera de estabilizar el viento y la arena mediante la construcción de plantas de energía fotovoltaica en el desierto, con el fin de lograr una situación beneficiosa, tanto a nivel económico como de gobernanza en el desierto.

**Figura 14.**



Los enemigos principales a los que se enfrenta la central eléctrica en el desierto son, por un lado, el viento, y, por otro, la arena.

**Figuras 15, 16 y 17.**





¿Cómo se puede contener el ritmo de las tormentas de arena y evitar, de este modo, que las dunas de arena se traguen las centrales fotovoltaicas? La fijación de arena es imprescindible. China tiene una gran experiencia en la fijación de arena, como el desierto de Kubuqi, el séptimo desierto más grande de China. Después de más de 30 años de control de arena, se han tratado más de 6066 millones de metros cuadrados (6066 kilómetros cuadrados) de desierto. Finalmente, la gente encontró una manera de solucionar el problema de la arena con cuadrados de hierba. Se trata de una especie de refugio en el desierto se crea al presionar hierba de trigo en la arena con una pala para formar una especie de red.

**Figura 18.**



Sin embargo, después de uno o dos años, los cuadrados de hierba se vuelven a convertir en montones de arena, debido a la descomposición que se produce después de la lluvia. Por lo tanto, si se desea controlar esa tierra arenosa, se necesita plantar vegetación. Las plantas de arena se han adaptado al entorno local (el *Haloxylon* es una de ellas). Puede crecer en los desiertos porque es capaz de echar raíces de forma rápida en un ambiente de poca lluvia y mucha luz solar, encontrando apenas una pequeña cantidad de agua en el suelo. Debido a su absorción de agua y resistencia a la sequía, sus rizomas logran alcanzar una profundidad de más de dos metros bajo tierra, por lo que la capacidad de fijación de arena es particularmente buena. Del mismo modo, los *Huabang*, también conocidos como *Astragalus membranaceus*, son otro tipo de planta arenosa. Con estas plantas en las proximidades de los paneles solares fotovoltaicos, estos se protegen con una mayor eficacia.

**Figuras 19 y 20.**

Sin embargo, esto no es suficiente. La llegada del viento y la arena cambiará la topografía del desierto. Después del fuerte viento, muchos cimientos dejarán al descubierto la parte de la base del panel fotovoltaico que originalmente estaba enterrada en el suelo, ya que la base, que es la parte inferior del panel fotovoltaico, carece del soporte de la arena circundante. La base, junto al panel fotovoltaico, se hundirán, lo que provocará una deformación grave del soporte del panel. Si el equipo fotovoltaico se daña, la producción segura de generación de energía se verá seriamente amenazada. Al mismo tiempo, *Haloxylon* y *Astragalus membranaceus* (Huabang) no se pueden plantar, ya que su altura es superior a 2 metros y la distancia mínima de los paneles fotovoltaicos desde el suelo es de 0,5 metros. Esto quiere decir que existe un requerimiento de altura de la vegetación plantada debajo del panel solar (esta no puede afectar la función del panel fotovoltaico para recibir luz solar). Y no solo eso, sino también la resistencia a la sequía. Después de una larga búsqueda de información por parte de los ingenieros, una planta llamada alfalfa (苜蓿 mù xù) cumplió con los requisitos. Después de dos meses de crecimiento, puede penetrar en el suelo unos 90 centímetros y absorber el agua más profunda de este. Además, la altura de la alfalfa varía entre los 30 y los 100 centímetros, por lo que no afectará al panel fotovoltaico. La alfalfa es el alimento favorito del ganado vacuno y ovino, conocido como el "rey de los pastos". Por tanto, puede ayudar al ganado vacuno, ovino y avícola a crecer mejor y fortalecerse.

Para Mongolia Interior, la alfalfa tiene un papel primordial. Debido a que el clima en Mongolia Interior es árido y son frecuentes las tormentas de polvo, el crecimiento de los pastos forrajeros no es estable. En este contexto, la alfalfa no solo no es exigente con respecto al suelo, pudiendo crecer en zonas áridas, sino que también puede mejorar la fertilidad y la calidad del suelo. Cuando la alfalfa crece como pasto forrajero, puede agregar un ingreso extra después de la cosecha; de esta manera, la alfalfa se convierte en la mejor opción para en el cultivo de plantas en referencia a la energía fotovoltaica.

En cuanto a los problemas que presenta, la alfalfa no es tan fácil de cultivar. En los dos primeros meses es muy delicada: necesita tierra y humedad adecuada y no puede exponerse al sol, por lo que es necesario esparcir una capa de tierra con un espesor de, al menos, 20 centímetros sobre el suelo arenoso, y regar dos veces al día. Al mismo tiempo, es necesario plantar mijo de hierba como una especie de "paraguas" para su crecimiento temprano, ya que el mijo de hierba crece

más rápido y más alto que la alfalfa, pudiendo proteger la vulnerabilidad de las plántulas de alfalfa en su etapa temprana.

Esta no es la única dificultad. El robo de animales salvajes, como liebres y pájaros, ha causado alopecia areata en las plántulas de vegetación recién crecidas. Estas liebres devoran las plántulas de alfalfa. Sin embargo, debido a la ley de protección de animales salvajes de China, los ingenieros locales se vieron incapaces de hacer algo al respecto, excepto sembrar, regar y cuidar todas las partes de tierras con alopecia areata.

Las dificultades de plantar vegetación en el desierto son numerosas. Desde octubre, con el comienzo del otoño y del invierno, esta densa vegetación se secará y se tomará un color amarillento, lo que se traduce en una mayor facilidad para provocar incendios; una gran amenaza para las plantas de energía fotovoltaica. Debido a que los materiales de composición de los paneles solares fotovoltaicos incluyen mallas de asbesto y vidrio (materiales muy inflamables), y materiales que se deformarán y dañarán directamente una vez quemados, esto provocará un golpe devastador directo a los paneles fotovoltaicos. Una vez ocurrido esto, no hay posible reparación o remedio, sino que la única opción es la sustitución por un nuevo dispositivo.

Para reducir la altura y la densidad de la vegetación, los ingenieros creyeron que las ovejas de los pastores cercanos podrían ayudar. Después de varios meses de observación, debido al temperamento dócil de las ovejas, estas no atacan los paneles solares fotovoltaicos, al igual que las cabras, que tampoco lo hacen sin un grupo numeroso de machos cabríos. Las parvadas, por el contrario, sí pueden comer el pasto excesivamente denso y evitar que la altura sobrepase los paneles fotovoltaicos, debido al crecimiento excesivo, lo que repercutirá en la recogida de soleamiento y la generación de energía.

La falta de voluntad de las ovejas para irse llegada la noche se ha convertido en otro problema, ya que el coste de una oveja en el área local es de, al menos, 1300 yuanes. Si alguna oveja sufre un accidente, supondrá una gran pérdida para los pastores locales. En esta vasta área de paneles fotovoltaicos de 1,13 millones de metros cuadrados (50 000 kilovatios fotovoltaicos), que equivale a 155 campos de fútbol estándar, no es realista depender de la mano de obra para encontrar una oveja perdida. Debido a que las ovejas comen pasto, sobre todo durante el día, no quieren irse a casa por la noche. Los ingenieros les preguntaron a los pastores cómo ajustar sus relojes biológicos a través del "control de alimentos", y dejaron que las ovejas adquirieran el hábito de salir temprano y regresar tarde, resolviendo este problema. Antes de que las ovejas sean conducidas al área fotovoltaica para pastar por la mañana, los pastores les darán un delicioso alimento, lleno de esencias concentradas como maíz, salvado de trigo y sal. No importa lo sabrosa que sea la alfalfa, ya que la hierba es hierba, después de todo, y las ovejas también son quisquillosas para comer, por lo que nunca se puede resistir la tentación de una mejor alimentación. De este modo, además de darles comida por la mañana, cuando regresan al redil por la noche, la deliciosa comida ya está allí esperándolas. Alimentándolas por la mañana y por la noche, las ovejas desarrollarán un hábito. Se abre el cerco por la mañana para que salgan a pastar a la zona fotovoltaica, y luego se vuelve a abrir a las seis o siete de la tarde,

provocando que las ovejas vayan volviendo una tras otra.

De esta manera, en un desierto que era árido, se formó un círculo ecológico sorprendente. Bajo los paneles fotovoltaicos se plantó hierba de alfalfa y mijo de hierba, dando lugar a una densa vegetación en el suelo arenoso. A medida que las plantas crecen, existe el riesgo de un incendio, por lo que la parvada puede ingresar al área fotovoltaica para comer la hierba demasiado densa y así evitar que se produzca. En esta central fotovoltaica en el desierto, no solo se sembró el césped, sino que los ingenieros crearon una gran huerta en el suelo arenoso frente a los paneles fotovoltaicos: incluyendo pepinos, berenjenas, tomates, maíz, pimientos, apio, frijoles, sandías, etc. Con un total de 16 tipos diferentes de cultivos. De este modo, las plantas de energía fotovoltaica desoladas se han convertido en un oasis de vida, logrado el desarrollo económico y la gobernanza ambiental.

### A.2.3. Casos de generación de energía CSP

#### Caso 1

En 2011, el Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Academia de Ciencias de China construyó la primera estación CSP, tipo torre, de China con derechos de propiedad intelectual independientes a nivel nacional en, Yanqing, Beijing.

**Figura 21.**



#### Caso 2

En 2013, Qinghai Delingha, construyó la primera central de CSP comercializada en China. Marca que la tecnología fototérmica ha pasado del laboratorio al mercado.

**Figuras 22 y 23.**



### Caso 3

En 2018, Dunhuang Gansu, construyó la primera planta de CSP de torre de sal fundida de nivel de producción de 100 megavatios en China, que actualmente es la planta de CSP más grande de Asia. La transmisión de energía estable anual de 400 millones de kWh asegura la electricidad civil de 87 000 hogares circundantes.

**Figura 24.**





#### Caso 4

En septiembre de 2021, la estación de energía solar de torre de sal fundida en Hami, Xinjiang, se conectó oficialmente a la red para generar electricidad. Se espera que proporcione casi 200 millones de kWh de electricidad limpia cada año.

**Figura 25.**



Qinghai Delingha tiene una insolación promedio de más de 3000 horas y es una de las regiones con los recursos de energía solar más abundantes del país. La radiación solar anual total alcanza entre 6618,3 y 7356,9 megajulios por metro cuadrado, y el terreno disponible es de casi 42 000 kilómetros cuadrados. En marzo de 2022, comenzó oficialmente el proyecto de almacenamiento térmico solar integrado de Qinghai Delingha. Esta enorme central eléctrica tiene una capacidad instalada total de 2 millones de kilovatios y realizará una generación de energía fotovoltaica, térmica solar y de almacenamiento de energía sinérgica a gran escala. Se

espera que, una vez que el proyecto se complete y se ponga en funcionamiento, la electricidad anual en la red alcance los 3650 millones de kWh. El desarrollo coordinado y las formas innovadoras de complementariedad multi-energética seguirán promoviendo el desarrollo de nuevas energías.

## Apéndice B

### Apéndice B.1.

Los cálculos requeridos en todas las etapas de la implementación de la metodología presentada en este estudio, así como la gestión del conjunto de datos brutos, se llevaron a cabo utilizando el software estadístico R. Las figuras fueron generadas con el software gnuplot [123]. Ambos programas son software gratuito de código abierto (FOSS), y junto con la disponibilidad pública de todos los datos utilizados, aseguran la reproducibilidad de los resultados.

### Apéndice B.2.

Tabla B.2.1. Pronóstico de la demanda de energía primaria: Escenario Urgente Verde (Green Urgent Scenario- GUS).

	2030	2040	2050	2060
Coal	276,584	180,939	86,036	17,143
Oil	104,274	87,060	58,360	28,572
Natural gas	69,021	81,861	75,772	41,230
Hydropower	50,150	53,768	56,481	62,160
Nuclear Power	21,240	35,178	52,547	77,700
Wind Power	42,185	77,220	115,210	152,810
Photovoltaic	38,055	78,936	123,640	168,350
RE (other)	236	1716	7025	25,900
Total	601,745	596,679	575,071	573,865

Notas: Unidades: 10 mil toneladas de carbón estándar. Fuente, [91].

Tabla B.2.2. Emisiones de CO<sub>2</sub> en el escenario de 1,5 °C.

2020	2030	2050	2060
10.03	7.44	1.47	0

Unidades: tce (toneladas métricas de carbón equivalente). Fuente, [89].

## Apéndice B.3.

### Abreviatura

CCUS Carbon Capture Utilization and Storage- Utilización y almacenamiento de la captura de carbono

CvaR Conditional Value at Risk- Valor condicional en riesgo

EKC Environmental Kuznets Curve- Curva de Kuznets ambiental

EV Electric Vehicle- Vehículo eléctrico

FOOS Free Open-Source Software- Software gratuito de código abierto

GA-LSTM Genetic Algorithm, Long Short-Term Memory- Algoritmo genético, memoria a largo plazo

GDP Gross Domestic Product- Producto Interno Bruto

GHG Greenhouse Gas- Gases de efecto invernadero

IEA International Energy Agency- Agencia Internacional de Energía

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

IRENA International Renewable Energy Agency- Agencia Internacional de Energías Renovables

LAD Least Absolute Deviations- Desviaciones mínimas absolutas

OWD OurWorld in Data

PV Photovoltaic- fotovoltaico

PWh PetaWatt hour- Petavatios hora

RE Renewable Energy- Energía renovable

TWh TeraWatt hour- Teravatios hora

UN United Nations- Naciones Unidas

VaR Value at Risk- Valor en riesgo

WB World Bank- Banco Mundial



## 9. Bibliografía

- [1] Kelsey N, Meckling J. Who wins in renewable energy? Evidence from Europe and the United States. *Energy Res Soc Sci* 2018;37:65–73. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.08.003>. no. August 2017.
- [2] E. Judson, O. Fitch-Roy, T. Pownall, R. Bray, H. E. Judson, O. Fitch-Roy, T. Pownall, R. Bray, H. Poulter, I. Soutar, R. Lowes, P.M. Connor, J. Britton, B. Woodman, C. Mitchell. The centre cannot (always) hold: examining pathways towards energy system decentralisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2020;118:109499. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109499>. November 2019.
- [3] Frank W. Geels, Florian Kern, Gerhard Fuchs, Nele Hinderer, Gregor Kungl, Josephine Mylan, Mario Neukirch, Sandra Wassermann. The enactment of socio-technical transition pathways: a reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990-2014). *Res Pol* 2016;45(4):896–913. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.01.015>.
- [4] Emily Creamer, Will Eadson, Bregje van Veelen, Annabel Pinker, Margaret Tingey, Tim Brauhnoltz-Speight, Marianna Markantoni, Mike Foden, Max Lacey-Barnacle. Community energy: entanglements of community, state, and private sector. *Geogr Compass* 2018:e12378. <https://doi.org/10.1111/gec3.12378>. Jun.
- [5] L'obbe S, Hackbarth A, Stillahn T, Pfeiffer L, Rohbogner G. Customer participation in P2P trading: a German energy community case study. *Behind Beyond M.*; 2020. p. 83–104. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819951-0.00004-9>.
- [6] Brinker L, Satchwell AJ. A comparative review of municipal energy business models in Germany, California, and Great Britain: institutional context and forms of energy decentralization. *Renew Sustain Energy Rev* 2020;119:109521. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109521>. no. November 2019.
- [7] Sperling K, Hvelplund F, Mathiesen BV. Centralisation and decentralisation in strategic municipal energy planning in Denmark. *Energy Pol* 2011;39(3):1338–51. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.006>.
- [8] Brinker L, Satchwell AJ. A comparative review of municipal energy business models in Germany, California, and Great Britain: institutional context and forms of energy decentralization. *Renew Sustain Energy Rev* 2020;119:109521. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109521>. no. November 2019.
- [9] Berka AL, MacArthur JL, Gonnelli C. Explaining inclusivity in energy transitions: local and community energy in Aotearoa New Zealand. *Environ Innov Soc Transitions*

- 2020;34:165–82. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.01.006>. no. December 2019.
- [10] Lawrence A. Energy decentralization in South Africa: why past failure points to future success. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2020;120:109659. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109659>. no. December 2019.
- [11] Poupeau FM. Everything must change in order to stay as it is. The impossible decentralization of the electricity sector in France,. *Renew Sustain Energy Rev* 2020;120:109597. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109597>. no. December 2019.
- [12] A. Berka and M. Dreyfus. Decentralisation and inclusivity in the energy sector: Preconditions, impacts and avenues for further research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 138 (2021) 110663. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110663>
- [13] Toke David. Renewable energy auctions and Tenders ; how good are they? *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 2016;8:43–56. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2015.8.5>. December 2015.
- [14] Saddle H. How consumers got burned on electricity prices: it started with networks: *RenewEconomy*. *RenewEconomy* 2017. <https://reneweconomy.com.au/consumers-got-burned-electricity-prices-startednetworks-48000/>.
- [15] Oakley Greenwood. Gas price trends review. 2016. <https://industry.gov.au/Energy/Energy-information/Documents/Gas-Price-Trends-Report.pdf>.
- [16] AEMO. Retail electricity price history and projections - Public. 2016. [https://www.aemo.com.au/-/media/Files/Electricity/NEM/Planning\\_and\\_Forecasting/Demand-Forecasts/NEFR/2016/Retail-electricity-price-history-and-projections.pdf](https://www.aemo.com.au/-/media/Files/Electricity/NEM/Planning_and_Forecasting/Demand-Forecasts/NEFR/2016/Retail-electricity-price-history-and-projections.pdf).
- [17] Manitoba HVDC Research Centre. Report for review of the black system South Australia report-system event of 28 September, 2016. Winnipeg; 2017.
- [18] Martin Warneryd, Maria Håkansson, Kersti Karltorp. Unpacking the complexity of community microgrids: A review of institutions' roles for development of microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109690>
- [19] Imran Khan. Impacts of energy decentralization viewed through the lens of the energy cultures framework: Solar home systems in the developing economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109576>

- [20]Khan I. Power generation expansion plan and sustainability in a developing country: A multi-criteria decision analysis. *J Clean Prod* 2019;220:707–20.  
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.161>.
- [21]Dierk Bauknecht, Simon Funcke, Moritz Vogel. Is small beautiful? A framework for assessing decentralized electricity systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109543>
- [22]Michiel A. Heldeweg, Séverine Saintier. Comunidades de energía renovable como 'instituciones socio-legales': ¿Un marco normativo para la descentralización energética? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [23]S. Funcke, C. Ruppert-Winkel. Storylines of (de)centralisation: Exploring infrastructure dimensions in the German electricity system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109652>
- [24]国家发展和改革委员会能源研究所、国家可再生能源中心《中国可再生能源展望2018》。"Perspectiva de energía renovable de China 2018" por el Instituto de Investigación de Energía de la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma y el Centro Nacional de Energía Renovable.
- [25]国家可再生能源中心 Centro Nacional de Energías Renovables.
- [26]国家能源局。《关于加快推进风电、光伏发电平价上网有关工作的通知(征求意见稿)》，2018年9月。 Administración Nacional de Energía. "Aviso sobre la aceleración de la promoción de la generación de energía eólica y fotovoltaica a la paridad de la red (borrador para comentarios)", septiembre de 2018.
- [27]国家能源局下发了《关于开展分布式发电市场化交易试点的通知》(发改能源[2017]1901号)，2017年。 La Administración Nacional de Energía emitió el "Aviso sobre el lanzamiento del programa piloto de negociación basada en el mercado de generación de energía descentralizada" (Fa Gai Energy [2017] No. 1901), 2017.
- [28]国家能源局. 关于征求《分布式发电管理办法(征求意见稿)》意见的函 [z]. 2018. Administración Nacional de Energía. Carta sobre solicitud de opiniones sobre las "Medidas Administrativas para la Generación de Energía Descentralizada (Borrador para Comentarios)" [z]. 2018.
- [29]国家能源局. 关于分散式接入风电开发的通知(国能新能 [2011]226号)[z]. 2011. Administración Nacional de Energía. Aviso sobre el desarrollo del acceso descentralizado a la energía eólica (Guoneng Xinneng [2011] No. 226) [z]. 2011.

- [30]国家能源局. 关于引发分散式接入风电项目开发建设指导意见的通知(国能新能[2011]374号)[z]. 2011. Administración Nacional de Energía. Aviso sobre el inicio de las opiniones orientativas sobre el desarrollo y la construcción de proyectos de energía eólica de acceso descentralizado (Guoneng Xinneng [2011] No. 374) [z]. 2011.
- [31]国家能源局. 关于可再生能源发展“十三五”规划实施的指导意见(国能发新能[2017]31号)[z]. 2017. Administración Nacional de Energía. Opiniones orientativas sobre la implementación del “Decimotercer plan quinquenal” para el desarrollo de energías renovables (Guoneng Fa Xinneng [2017] No. 31) [z]. 2017.
- [32]国家能源局. 关于加快推进分散式接入风电项目建设有关要求的通知(国能发新能[2017]3号)[z]. 2017. Administración Nacional de Energía. Aviso sobre la aceleración de la construcción de proyectos de energía eólica de acceso descentralizado (Guoneng Fa Xinneng [2017] No. 3) [z]. 2017.
- [33]国务院. 关于促进光伏产业健康发展的若干意见(国发[2013]24号)[z]. 2013. Consejo de Estado. Varias opiniones sobre la promoción del desarrollo saludable de la industria fotovoltaica (Guo Fa [2013] No. 24) [z]. 2013.
- [34]国家能源局. 关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知(国能新能(2014)406号)[z]. 2014. Administración Nacional de Energía. Aviso sobre la implementación adicional de políticas de generación de energía fotovoltaica descentralizada (Guoneng Xinneng (2014) No. 406) [z]. 2014.
- [35]财政部. 关于分布式光伏发电实行按照电量补贴政策等有关问题的通知(财建[2013]390号)[z]. 2013. Ministerio de Hacienda. Aviso sobre la implementación de la generación de energía fotovoltaica descentralizada de conformidad con la política de subsidio eléctrico y otros temas relacionados (Caijian [2013] No. 390) [z]. 2013.
- [36]国家发展和改革委员会. 关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知(发改价格[2013]1638号)[z]. 2013. Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma. Aviso sobre cómo aprovechar el papel del precio para promover el desarrollo saludable de la industria fotovoltaica (Fa Gai Price [2013] No. 1638) [z]. 2013.
- [37]中国光伏行业协会.2022.2 Asociación de la Industria Fotovoltaica de China .2022.2.
- [38]国家发改委能源研究所. 2022年中国可再生能源展望报告 [R]. 北京: 国家发改委能源研究所, 2022 Instituto de Investigación Energética de la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma, Informe de Perspectivas de Energía Renovable de China de 2022 [R], Beijing,2022.



- [39]Peipei Chen, Yi Wu, Lele Zou. Distributive PV trading market in China: A design of multi-agent-based model and its forecast analysis [J] . Energy, 2019(185): 185.
- [40]马春兰. 试论分布式光伏项目规模化发展问题及对策[J]. 湖南水利水电, 2020(04): 115–117. Chunlan Ma. Sobre los problemas y contramedidas del desarrollo a gran escala de proyectos fotovoltaicos distribuidos [J]. Hunan Polytechnic of Water Resources and Electric Power, 2020 (04): 115–117.
- [41]Samuel Corwin, Timothy LJohnson. The Role of Local Governments In the Development of China's Solar Photovoltaic Industry [J] . Energy Policy, 2019(130): 283–293.
- [42]陈建国, 苑英科. 社会能源系统视角下的中国居民小区分布式光伏发电 [J]. 华北电力大学学报(社会科学版), 2019 (06): 1–13. Jianguo Chen, Yingke Yuan. Generación de energía fotovoltaica distribuida en áreas residenciales chinas desde la perspectiva del sistema de energía social [J] Journal of North China Electric Power University (Social Science Edition), 2019(06): 1–13.
- [43]Qingmei Wen, Gang Liu, Zhenghua Rao. Applications, Evaluations and Supportive Strategies of Distributed Energy Systems: a Review [ J ] . Energy and Buildings, 2020(225):110314.
- [44]Qing Lu, Hao Yu, Kangli Zhao, Yajun Leng, Jianchao Hou, Pinjie Xie. Residential demand response considering distributed PV consumption: A model based on China's PV policy [J] . Energy, 2019 (172): 443-456.
- [45]Weiwu Ma, Jiaqian Fan, Song Fang, Gang Liu. Techno-economic potential evaluation of small-scale gridconnected renewable power systems in China [J] . Energy Conversion and Management, 2019(196): 430-442.
- [46]昔小博, 郑直. 我国分布式光伏发展现状与趋势 [J]. 科技智囊, 2020 (02): 43–47. Xiaobo Xi, Zhi Zheng. Situación actual y tendencia del desarrollo fotovoltaico distribuido en mi país [J] Think Tank of Science & Technology, 2020(02): 43–47.
- [47]许建峰, 曹庆仁. 中国分布式光伏并网发电现状及应用研究 [J]. 能源与节能, 2020 (06): 45–48. Jianfeng Xu, Qingren Cao. Investigación sobre la situación actual y la aplicación de la generación de energía fotovoltaica distribuida conectada a la red en China [J] Energy and Energy Conservation, 2020(06): 45–48.
- [48]周雯. 分布式光伏发电并网的成本与效益分析[J]. 集成电路应用, 2020(08): 72–73. Wen Zhou. Análisis de costos y beneficios de la generación de energía fotovoltaica distribuida conectada a la red [J]. Application of IC, 2020 (08): 72–73.

- [49]张慧慧. 分布式光伏产业发展的SWOT分析[J]. 市场周刊, 2019(01): 38–39. Huihui Zhang. Análisis FODA del desarrollo de la industria fotovoltaica distribuida [J] Market Weekly, 2019 (01): 38–39.
- [50]Castagneto Gissey Giorgio, Zakeri Behnam, Dodds Paul E, Subkhankulova Dina. Evaluating consumer investments in distributed energy technologies [J] . Energy Policy, 2020 (01): 114–116.
- [51]WANG Y, WANG S, SONG F, et al. Study on the forecast model of electricity substitution potential in Beijing-Tianjin-Hebei region considering the impact of electricity substitution policies [J] . Energy Policy, 2020 (01): 144.
- [52]钱平凡. 大力发展分布式光伏经济培育壮大高质量发展新动能[J]. 发展研究, 2019 (10): 49–58. Pingfan Qian. Desarrollar vigorosamente la economía fotovoltaica distribuida para cultivar y expandir nueva energía cinética para un desarrollo de alta calidad [J]. Development Research, 2019 (10): 49–58.
- [53]WANG M, MAO X, GAO Y, et al. Potential of carbon emission reduction and financial feasibility of urban rooftop photovoltaic power generation in Beijing[J]. Journal of Cleaner Production, 2018 (03): 1119–1131.
- [54]李雷, 郭焱. 中国光伏产业高质量发展路径思考 [J] . 中外能源, 2018 (10): 9–23. 31. Lei Li, Yan Guo. Pensando en el camino de desarrollo de alta calidad de la industria fotovoltaica de China [J]. Sino-Global Energy, 2018 (10): 9–23.
- [55]潘旭东, 黄豫, 唐金锐, 杨柳. 新能源发电发展的影响因素分析及前景展望 [J] . 智慧电力, 2019 (11): 41–47. Xudong Pan, Yu Huang, Jinrui Tang, Liu Yang. Análisis de factores influyentes y perspectivas para el desarrollo de la generación de energía con nueva energía [J]. Smart Power, 2019(11): 41–47.
- [56]Song Yazhi, Liu Tiansen, Ye Bin, Li Yin. Linking carbon market and electricity market for promoting the grid parity of photovoltaic electricity in China [J] . Energy, 2020 (211): 118924.
- [57]Yunna Wu, Jianli Zhou. Risk Assessment of Urban Rooftop Distributed Pv In Energy Performance Contracting (Epc) Projects: an Extended Hflts-dematel Fuzzy Synthetic evaluation analysis [J] . Sustainable Cities and Society, 2019(47):101524.
- [58]Xingang Zhao, Zhen Wang. Technology, cost, economic performance of distributed photovoltaic industry in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019(110): 53–64.
- [59]张素芳, 邓琦. 基于扎根理论的我国分布式光伏发电制约因素研究. [J] 华北电力大学学报(社会科学版). Sufang Zhang. Using Grounded Theory to Identify the Key Factors

Constraining China's Distributed Solar PV Development. School of Economics and Management Reviews of North China Electric Power University, Beijing 102206, China.

- [60] 21st annual overview barometer. Edition 2022.  
<https://www.eurobserv-er.org/21st-annual-overview-barometer/>
- [61] European Commission, Directorate General of Energy. "Study on energy prices, costs and their impact on industry and households", November 2018. Koen Rademaekers et al., <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/16e7f212-0dc5-11eb-bc07-01aa75ed71a1/language-en>
- [62] Eurostat. Electricity prices for household consumers – bi-annual data (from 2007 onwards) (nrg\_pc\_204) " actualized in 21/04/2023
- [63] European Commission Guidelines for the Design of Renewable Energy Support Programs, European Commission Staff Working Paper SWD(2013) 439 Final, Brussels, 5 November 2013.
- [64] EU-China Energy Cooperation Platform, ECECP
- [65] Policy considerations for supporting the construction of renewable energy power generation in China and Europe. EU Foreign Policy Instruments Funding Program, Funded by the European Union Foreign Policy Instrument. June 2020.
- [66] Treaty on the Functioning of the European Union (TFEU). Article 294.
- [67] Eurostat Renewable Energy Statistics Notes.  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable\\_energy\\_statistics#Renewable\\_energy\\_produced\\_in\\_the\\_EU\\_increased\\_by\\_two\\_thirds\\_in\\_2007-2017](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics#Renewable_energy_produced_in_the_EU_increased_by_two_thirds_in_2007-2017)
- [68] Eurostat. Shared databases.  
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>
- [69] European Commission Communication. Guidelines on State aid for environmental protection and energy (CEEAG) 2014-2020, 2014 / C 200/01, OJ C 200, 28.6.2014.)
- [70] Agencia Internacional de Energía, BP World Energy Outlook 2020
- [71] British Petroleum. La Revisión de las estadísticas energéticas mundiales.
- [72] World-Energy ( [www.world-energy.org](http://www.world-energy.org) )

- [73] Periódico China People's Daily: La industria mundial de energías renovables acelera el desarrollo
- [74] Agencia Internacional de Energías Renovables
- [75] China Energy News. People's Daily Online. Periodico " Se espera que el mercado fotovoltaico de África supere los 7.000 millones de dólares "
- [76] El Plan Nacional de Energía y Clima (NECP) 2030. Francia
- [77] Banco mundial. El acceso universal a la energía sostenible seguirá siendo inalcanzable, a menos que se aborden las desigualdades. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2021/06/07/report-universal-access-to-sustainable-energy-will-remain-elusive-without-addressing-inequalities>
- [78] EIA. U.S. Energy Information Administration. <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>
- [79] Our World in Data. <https://ourworldindata.org/grapher/energy-consumption-by-source-and-country>
- [80] <https://www.rtve.es/>
- [81] IRENA
- [82] World Bank
- [83] Our World in Data. <https://ourworldindata.org/>
- [84] United Nations
- [85] The State Council Information Office of the People's Republic of China. China's Green Development in the New Era; China International Book Trading Corporation: Beijing, China, 2023.
- [86] Wang, Y.; Guo, C.; Chen, X.; Jia, L.; Guo, X.; Chen, R.; Zhang, M.; Chen, Z.; Wang, H. Carbon peak and carbon neutrality in China: Goals, implementation path and prospects. China Geol. 2021, 4, 720–746.
- [87] International Energy Agency (IEA). An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China; International Energy Agency (IEA): Paris, France, 2021.
- [88] International Renewable Energy Agency (IRENA). China's Route to Carbon Neutrality: Perspectives and the Role of Renewables; International Renewable Energy Agency

- (IRENA): Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2022; ISBN 978-92-9260-449-3.
- [89]Institute of Climate Change and Sustainable Development of Tsinghua University (ICSDTU). *China's Long-Term Low-Carbon Development Strategies and Pathways*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2022.
- [90]Energy Research Institute of the Chinese Academy of Macroeconomic Research. *China Energy Transformation Outlook. 2022*. Available online: [https://www.cet.energy/2022/06/28/ceto\\_2022/](https://www.cet.energy/2022/06/28/ceto_2022/) (accessed on 25 May 2023).
- [91]Sinopec Economic and Technological Research Institute. *China Energy Outlook 2060*; Sinopec: Beijing, China, 2022; Available online: <http://www.sinopec.com/listco/en/> (accessed on 25 May 2023)ISBN -9787511469137.
- [92]Stern, N.; Xie, C. China's new growth story: Linking the 14th Five-Year Plan with the 2060 carbon neutrality pledge. *J. Chin. Econ. Bus. Stud.* 2023, 21, 5–25.
- [93]Li, J.; Luo, Y.; Wei, S. Long-term electricity consumption forecasting method based on system dynamics under the carbon-neutral target. *Energy* 2022, 244, 122572.
- [94]Qiu, S.; Lei, T.;Wu, J.; Bi, S. Energy demand and supply planning of China through 2060. *Energy* 2021, 234, 121193.
- [95]Shi, C.; Zhi, J.; Yao, X.; Zhang, H.; Yu, Y.; Zeng, Q.; Li, L.; Zhang, Y. How can China achieve the 2030 carbon peak goal—A crossover analysis based on low-carbon economics and deep learning. *Energy* 2023, 269, 126776.
- [96]Xu, G.; Dong, H.; Xu, Z.; Bhattarai, N. China can reach carbon neutrality before 2050 by improving economic development quality. *Energy* 2022, 243, 123087.
- [97]Guo, J.; Wu, L.; Mu, Y. An optimized grey model for predicting non- renewable energy consumption in China. *Heliyon* 2023, 9, e17037.
- [98]Wu, Z.; Huang, X.; Chen, R.; Mao, X.; Qi, X. The United States and China on the paths and policies to carbon neutrality. *J. Environ. Manag.* 2022, 320, 115785.
- [99]Wang, S.; Wang, Y.; Zhou, C.; Wang, X. Projections in Various Scenarios and the Impact of Economy, Population, and Technology for Regional Emission Peak and Carbon Neutrality in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 12126.
- [100]Che, B.; Shao, C.; Lu, Z.; Qian, B.; Chen, S. Mineral Requirements for China's Energy Transition to 2060—Focus on Electricity and Transportation. *Sustainability* 2023, 15, 585.
- [101]Arrobas, D.L.P.; Hund, K.L.; McCormick, M.S.; Ningthoujam, J.; Drexhage, J.R. The

- Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future; World Bank Publications: Washington, DC, USA, 2017.
- [102] Mauleón, I. A Statistical Model to Forecast and Simulate Energy Demand in the Long-Run. *Smart Energy* 2022, 7, 100084.
- [103] Kitagawa, G. *Introduction to Time Series Modeling with Applications in R*; Chapman & Hall/CRC: Boca Raton, FL, USA, 2021.
- [104] Birkes, D.; Dodge, Y. *Alternative Methods of Regression*; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, 1993.
- [105] Granger, C.; Jeon, Y. Long-term forecasting and evaluation. *Int. J. Forecast.* 2007, 23, 539–551.
- [106] Hendry, D.F. *Dynamic Econometrics*; Oxford University Press: Oxford, UK, 1995.
- [107] Efron, B. Bootstrap methods: Another look at the jackknife. *Ann. Stat.* 1979, 7, 1–26.
- [108] Kellert, S.H. *In the Wake of Chaos: Unpredictable Order in Dynamical Systems*; University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 1993; ISBN 978-0-226-42976-2.
- [109] Rockafellar, R.T.; Uryasev, S. Conditional value-at-risk for general loss distributions. *J. Bank. Financ.* 2002, 26, 1443–1471.
- [110] Our World in Data. Available online: <https://ourworldindata.org/> (accessed on 25 May 2023).
- [111] Maddison, A. *World Gdp over the Last Two Millennia*. Available online: <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/> (accessed on 25 May 2023).
- [112] United Nations. *World Population Prospects: The 2015 Revision*; United Nations Development Programme: New York, NY, USA, 2015.
- [113] Cleveland, W. Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatter Plots. *J. Am. Stat. Assoc.* 1979, 74, 829–836.
- [114] Nadaraya, E.A. On estimating regression. *Theory Probab. Its Appl.* 1964, 9, 141–142.
- [115] Rogers, W. *Calculation of Quantile Regression Standard Errors*; Stata Technical Bulletin No. 13; Stata Corporation: College Station, TX, USA, 1993.
- [116] Greene, W.H. *Econometric Analysis*, 5th ed.; Prentice-Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 2003.

- [117] Irena. Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050; Irena: Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2020. Available online: <https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/A>
- [118] IRENA\_Global\_Renewables\_Outlook\_2020.pdf (accessed on 25 May 2023).
- [119] International Energy Agency (IEA). World Energy Balances. 2021 Edition. Database Documentation. Available online: <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/world-energy-balancesand-statistics> (accessed on 25 May 2023).
- [120] Eurostat. Energy Statistics—An Overview. 2022. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/> (accessed on 25 May 2023).
- [121] Grubler, A.; Wilson, C.; Bento, N.; Boza-Kiss, B.; Krey, V.; McCollum, D.L.; Rao, N.D.; Riahi, K.; Rogelj, J.; De Stercke, S.; et al. A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nat. Energy* 2018, 3, 515–527.
- [122] Creutzig, F.; Roy, J.; Lamb, W.F.; Azevedo, I.M.L.; Bruine de Bruin, W.; Dalkmann, H.; Edelenbosch, O.Y.; Geels, F.W.; Grubler, A.; Hepburn, C.; et al. Towards demand-side solutions for mitigating climate change. *Nat. Clim. Change* 2018, 8, 260–263.
- [123] Centre for Research on Energy and Clean Air. China’s New Coal Power Spree Continues as More Provinces Jump on the Bandwagon. 2023. Available online: <https://energyandcleanair.org/publication/chinas-new-coal-power-spree-continues-asmore-provinces-jump-on-the-bandwagon/> (accessed on 15 September 2023).
- [124] Janet, P.K. *Gnuplot in Action: Understanding Data with Graphs*, 2nd ed.; Manning Publications: Shelt Alan, NY, USA, 2016.