

29

INFORME
ESPAÑA
2022

CÁTEDRA
JOSÉ MARÍA MARTÍN
PATINO DE LA CULTURA
DEL ENCUENTRO



Servicio de Biblioteca. Universidad Pontificia Comillas de Madrid

INFORME España 2022 / Cátedra José María Martín Patino de la Cultura del Encuentro ; [coordinación y edición Agustín Blanco, Antonio Chueca, José Antonio López-Ruiz y Sebastián Mora]. -- Madrid : Universidad Pontificia Comillas, Cátedra J.M. Martín Patino, 2022.

460 p.

En la portada: 29.

Es continuación de la colección CECS publicada por la Fundación Encuentro ISSN 1137-6228.

D.L. M 25314-2022. -- ISBN 978-84-8468-949-2

1. Democracia. 2. Situación social. 3. Aspectos políticos. 4. Aspectos sociales. 5. Deuda pública. 6. Integración social. 7. Demografía. 8. España. I. Blanco Martín, Agustín, editor literario. II. Chueca, Antonio, editor literario. III. López-Ruiz, José Antonio, editor literario. IV. Mora Rosado, Sebastián (1966-), editor literario

Coordinación y edición: Agustín Blanco, Antonio Chueca,
José Antonio López-Ruiz y Sebastián Mora

Edita: UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
Cátedra J. M. Martín Patino

ISBN: 978-84-8468-949-2
Depósito Legal: M-25314-2022

Imprenta Kadmos
Salamanca



Gracias a la Fundación Ramón Areces, la Cátedra José María Martín Patino de la Cultura del Encuentro elabora este informe. En él ofrecemos una interpretación global y comprensiva de la realidad social española, de las tendencias y procesos más relevantes y significativos del cambio.

El informe quiere contribuir a la formación de la autoconciencia colectiva, ser un punto de referencia para el debate público que ayude a compartir los principios básicos de los intereses generales.

ÍNDICE

PARTE PRIMERA: CONSIDERACIONES GENERALES FRENTE A LA INCERTIDUMBRE, PROYECTOS Y DEMOCRACIA

Quim Brugué, Gemma Ubasart y Ricard Gomà

1. La pandemia como introducción: advertencia y aprendizaje	13
2. Claves para entender un escenario en transformación.....	15
2.1. Las transiciones socioecológicas	16
2.2. Las transiciones socioeconómicas.....	20
2.3. Las transiciones socioculturales	23
2.4. Las transiciones sociopolíticas	25
3. Proyectos para construir futuro y ciudadanía.....	29
3.1. Forjar igualdad y reconocer diferencias: proyectos para la inclusión	30
3.2. Generar autonomía y articular vínculos: proyectos para la fraternidad	34
3.3. La ciudadanía multiescalar: fortalecer la proximidad y el ámbito eu- ropeo.....	38
4. Gobernar la transición, ¿democracia o dejarse llevar?	41
Bibliografía.....	46

PARTE SEGUNDA: LA CULTURA DEL ENCUENTRO

*José Antonio López-Ruiz, Sebastián Mora, Agustín Blanco
y Francisco Lorenzo*

1. El itinerario del encuentro.....	49
1.1. De la cultura de la exclusión a la cultura de la reconciliación.....	49
1.2. La experiencia y el hábito del encuentro.....	50
1.3. ¿Hacia una cultura del encuentro?	52
2. La cultura del encuentro: una aproximación	55
2.1. Un marco teórico inspirador: de las ciencias sociales al pensamien- to social cristiano.....	55
2.2. Cultura del encuentro: una definición operativa	59
3. Índice de Cultura del Encuentro	62
3.1. El Índice de Cultura del Encuentro: datos globales	64
3.2. La cultura del encuentro a través de los valores sociales.....	68
3.3. La cultura del encuentro a través de las conductas y prácticas so- ciales	98
3.4. Las condiciones estructurales para la cultura del encuentro.....	110
3.5. Principales hallazgos y conclusiones.....	113
Bibliografía.....	128

PARTE TERCERA: DESARROLLO E INTEGRACIÓN SOCIAL

Capítulo 1

EL SISTEMA DE FORMACIÓN DE TRABAJADORES Y PARADOS EN EL PROCESO DE RECUALIFICACIÓN

Begoña Cueto y Paz Menéndez Sebastián

Introducción	135
1. El papel de la formación ante los retos del mercado de trabajo	137

2. El sistema de formación profesional para el empleo.....	145
2.1. Formación para el empleo en España	150
3. Instrumentos legales para la integración laboral de las personas trabajadoras mediante la formación.....	160
3.1. La contratación formativa hasta 2021	160
3.2. Cambios derivados de la reforma laboral de 2021.....	169
4. Conclusiones y propuestas	176
Bibliografía	180
Anexo	182

Capítulo 2

LA EVOLUCIÓN DE LA DEUDA PÚBLICA: EL DEBATE SOBRE SU SOSTENIBILIDAD

Pedro José Gómez Serrano y Carlos Sánchez Mato

Introducción	185
1. El problema de la sostenibilidad del déficit público: una aproximación	189
2. Principales enseñanzas de la Gran Recesión en la gestión del déficit y de la deuda pública	200
3. Evolución de la deuda en España durante la pandemia.....	207
3.1. Evolución de la deuda pública y comparación con otros países de la eurozona	212
3.2. Pasivos contingentes.....	217
4. Sostenibilidad de la deuda para la economía y posibles hipotecas para la sociedad	219
4.1. Riesgo de subida de los tipos de interés.....	220
4.2. Considerable importancia de la deuda externa	225
4.3. Envejecimiento	226
4.4. Riesgo de inflación	228
4.5. Insuficiente recaudación fiscal e impacto sobre la deuda pública ..	228
5. Balance final y propuestas de política económica en relación con la deuda pública	230
5.1. Reforma del Pacto de Estabilidad y Crecimiento	233
5.2. Programa de actuación ante el sobreendeudamiento	235
6. Conclusiones.....	242
Bibliografía.....	246

Capítulo 3

BRECHAS DE GÉNERO EN TIEMPOS DE PANDEMIA: EMPLEO, TRABAJO DOMÉSTICO Y CUIDADOS

Marta Domínguez-Folgueras, M. José González e Irene Lapuerta

Introducción	251
1. Efectos de la COVID-19 en el empleo femenino y la división del trabajo: evidencias empíricas	252
2. Políticas de conciliación de la vida laboral, familiar y personal antes y durante la pandemia de la COVID-19: el caso de España en perspectiva comparada	255
2.1. El punto de partida: las carencias estructurales de las políticas de conciliación.....	256

2.2. La respuesta institucional durante la crisis sociosanitaria de la COVID-19 para apoyar a las familias con criaturas	263
3. Desigualdades de género en el mercado de trabajo	267
3.1. Logro educativo y participación laboral.....	268
3.2. Relación entre maternidad/paternidad y empleo	270
3.3. Las tasas de inactividad durante el confinamiento.....	270
3.4. El teletrabajo como alternativa laboral durante la pandemia	272
3.5. El empleo a tiempo parcial	275
3.6. Origen migratorio y vulnerabilidad laboral	276
4. El impacto de la pandemia en la división del trabajo doméstico y de cuidados	278
4.1. División del trabajo doméstico	280
4.2. División del trabajo de cuidado	283
4.3. Impacto subjetivo: malestar y dificultades de conciliación.....	285
5. Conclusiones.....	288
Bibliografía.....	292

Capítulo 4

DINÁMICAS DEMOGRÁFICAS DURANTE LA PANDEMIA DE LA COVID-19: ¿QUÉ SABEMOS DOS AÑOS DESPUÉS?

Celia Fernández-Carro, Marta Seiz, Juan Manuel García-González y José Manuel Torrado

Introducción	303
1. Mortalidad, longevidad y bienestar.....	309
1.1. Empezando por el principio: una sobremortalidad inesperada	309
1.2. Frenazo en seco de las tendencias en longevidad.....	315
1.3. La influencia de la pandemia sobre el bienestar emocional	318
2. Fecundidad y relaciones de pareja	329
2.1. Natalidad en caída libre por la emergencia sanitaria, fecundidad en niveles muy bajos e insuficiente recuperación.....	329
2.2. La agudización del retraso de la maternidad, la dificultad de transición a los segundos nacimientos y el impacto en la fecundidad en grupos y contextos socioeconómicamente más vulnerables	333
2.3. Uniones, separaciones y calidad de las relaciones de pareja durante la pandemia.....	340
3. Migraciones y movilidad	347
3.1. El impacto de la pandemia en las migraciones internacionales: ¿hacia un nuevo ciclo migratorio?.....	348
3.2. El impacto de la pandemia en las migraciones interiores: ¿parálisis de la movilidad o retraso del calendario?.....	351
3.3. Cambios en las pautas de asentamiento de los migrantes: ¿se está produciendo una “vuelta a lo rural”?.....	354
4. Conclusiones	360
4.1. Las consecuencias demográficas de la pandemia.....	360
4.2. Más allá de lo demográfico.....	362
4.3. Un futuro incierto.....	364
Bibliografía.....	366

PARTE CUARTA: REDES Y TERRITORIO

Capítulo 5

LA DESCARBONIZACIÓN DEL SISTEMA ENERGÉTICO ESPAÑOL:
RETOS Y OPORTUNIDADES

*Pedro Linares, José Carlos Romero, Antonio F. Rodríguez Matas y
Manuel Pérez Bravo*

Introducción	377
1. El contexto global del cambio climático.....	378
1.1. El Acuerdo de París	381
1.2. Pacto Verde Europeo (European Green Deal)	382
1.3. Escenarios globales: ¿Qué dicen los principales informes sobre los escenarios futuros en la descarbonización de la economía global? ..	384
2. El sistema energético español, breve diagnóstico de la situación actual..	388
2.1. Situación de los principales indicadores del sistema energético es- pañol	388
2.2. Estado actual de la transición energética en España	393
3. Perspectivas de evolución del sistema energético español: PNIEC y ELP ..	396
3.1. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)	396
3.2. Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 (ELP)	400
4. Retos y oportunidades de la descarbonización del sistema energético español	404
4.1. Sector eléctrico	404
4.2. Transporte	410
4.3. Edificios	419
4.4. Sector industrial	424
5. Impactos macroeconómicos	428
5.1. Implicaciones distributivas de la descarbonización	431
6. Políticas necesarias	436
6.1. Fiscalidad	437
6.2. Innovación y política industrial	439
6.3. Sector eléctrico	440
6.4. Transporte	442
6.5. Edificios	444
6.6. Industria	445
7. Conclusiones.....	448
7.1. La urgencia y la magnitud de la transformación.....	448
7.2. Los principales retos.....	450
7.3. Cómo aprovechar las oportunidades	451
7.4. La importancia de las políticas	452
Bibliografía	454

Capítulo 5
LA DESCARBONIZACIÓN DEL
SISTEMA ENERGÉTICO ESPAÑOL:
RETOS Y OPORTUNIDADES

Pedro Linares
José Carlos Romero
Antonio F. Rodríguez Matas
Manuel Pérez Bravo
Universidad Pontificia Comillas

Introducción

La descarbonización del sector energético español es posiblemente uno de los mayores retos a los que se enfrenta nuestra sociedad en las próximas décadas. La transformación tecnológica y social necesaria para evolucionar hacia un sistema energético sin energías fósiles, más descentralizado y digitalizado, y además para hacerlo en un periodo de tiempo relativamente breve, es enorme, y de un nivel de complejidad no experimentado hasta el momento.

Y es que, como decimos, esta transformación no puede ser exclusivamente tecnológica. No basta sustituir las fuentes de energía fósiles por unas energías renovables ya competitivas y comercialmente maduras como la energía eólica o la solar fotovoltaica. En primer lugar, porque hay tecnologías que necesitamos y que aún no existen a nivel comercial, como las precisas para descarbonizar la industria, o para dotar de la suficiente estabilidad a un sistema eléctrico basado mayoritariamente en energías de carácter variable. En segundo lugar, porque para lograr los objetivos en los plazos marcados necesitamos además contar con una reducción importante de la demanda de energía, a veces apoyada en tecnología y digitalización, pero que requerirá cambios profundos en los comportamientos y actitudes de los consumidores acerca de la energía. Estos cambios sociales llevan tiempo, y requieren liderazgo y responsabilidad política, así como concienciación e iniciativas sociales.

Finalmente, la transición hacia un sistema energético descarbonizado no puede dejar a nadie atrás. No puede abandonar a todos los sectores económicos dependientes de las energías fósiles, ni puede suponer un coste excesivo para los hogares vulnerables. De hecho, la transición puede, si se ejecuta correctamente, suponer una de las mayores oportunidades de transformación del tejido productivo español. Apoyada en nuestra riqueza en recursos renovables, una nueva política industrial y de innovación inteligente permitiría desarrollar sectores económicos innovadores y competitivos a nivel global, y con ello crear empleo y valor añadido sostenible a largo plazo. Para ello hacen falta políticas valientes e inteligentes, que creen incentivos para la transformación requerida, estímulos a la innovación y protección para los más vulnerables.

A continuación, repasamos el contexto global de la transición climática, los elementos más relevantes de la transformación, los principales retos y oportunidades, y las políticas necesarias.

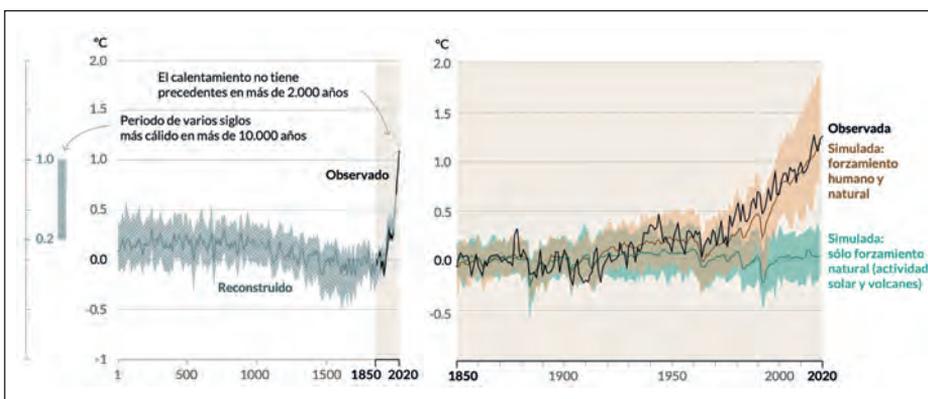
1. El contexto global del cambio climático

El cambio climático supone una amenaza con efectos irreversibles para el desarrollo de las sociedades humanas y la vida en la Tierra. Su origen está principalmente relacionado con el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, siendo los principales el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido de nitrógeno (NO_2), entre otros.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, según sus siglas en inglés) advirtió en su *Sexto Informe de Evaluación (AR6)* (Masson-Delmotte *et al.*, 2021) de la inequívoca influencia que la actividad humana tiene en el calentamiento de la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre: el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera se debe fundamentalmente a las emisiones de origen antropogénico.

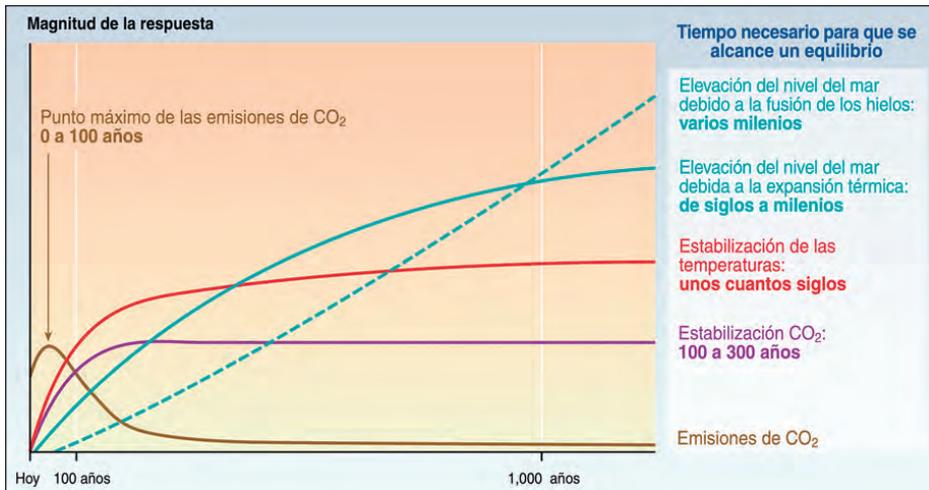
En la actualidad, la actividad humana ha provocado un calentamiento de aproximadamente $1\text{ }^\circ\text{C}$ en la superficie terrestre en comparación con el periodo 1850-1900 (gráfico 1). La influencia humana también está detrás de otros cambios severos: el retroceso de glaciares, la disminución del área de hielo marino y del permafrost del Ártico, el aumento del nivel medio global del mar en 0,20 metros, o el drástico aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor, fuertes precipitaciones, ciclones tropicales o sequías, entre otros (Masson-Delmotte *et al.*, 2021).

Gráfico 1 – Cambios en la temperatura global de la superficie en relación con 1850-1900



Fuente: Masson-Delmotte *et al.*, 2021.

Gráfico 2 – La concentración de CO₂, la temperatura y el nivel del mar continúa creciendo después de reducir las emisiones



Fuente: IPCC, 2001.

Para evitar que estas consecuencias del cambio climático alcancen niveles no deseables (lo que se conoce como mitigación del cambio climático), se requiere, en todos los escenarios, una reducción urgente de las emisiones antropogénicas. En este punto es importante aclarar que hablamos de mitigación del cambio climático, en lugar de disipación o reversión, porque ya existen efectos del cambio climático que son irreversibles en el largo plazo: el calentamiento global que hemos alcanzado en la actualidad persistirá durante siglos o milenios, y algunos de sus efectos serán retardados, causando cambios mayores en el largo plazo, incluso en un hipotético escenario donde eliminemos de forma súbita las emisiones antropogénicas (gráfico 2). Se espera que estos cambios retardados afecten especialmente a los océanos, el hielo y el nivel global del mar. Este último, por ejemplo, se estima que seguirá aumentando más allá del siglo XXI en todos los escenarios, alcanzando en el año 2100 un crecimiento que oscilará en el rango 0,28-1,88 metros (Masson-Delmotte *et al.*, 2021). La amplitud de este rango se debe a la magnitud y la tasa con la que puede aumentar el calentamiento global, que a su vez depende de las futuras sendas de emisiones globales: la reducción de emisiones antropogénicas se traduciría en una tasa más lenta de aumento del nivel del mar, que permitiría mayores oportunidades de adaptación para el ser humano y los sistemas ecológicos en pequeñas islas, zonas costeras bajas y deltas (IPCC, 2020). Por tanto, la intervención humana para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero es crucial para reducir al máximo los efectos del cambio climático, así como para desacelerar los procesos de cambio climático que permitan la adaptación de las sociedades humanas y medios naturales.

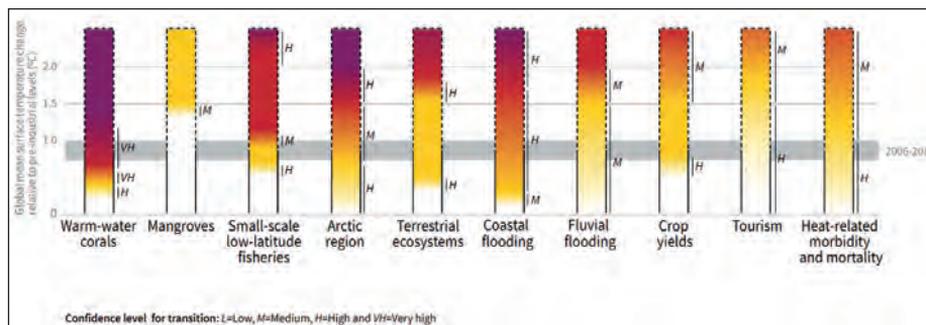
También es importante destacar que las sendas de emisiones globales no consisten solo en alcanzar la neutralidad climática¹ en un año objetivo (por ejemplo, España ha establecido como objetivo alcanzar la neutralidad climática en el año 2050). Las emisiones que se produzcan hasta alcanzar la neutralidad climática son igualmente importantes. Como mencionábamos anteriormente, la concentración de gases de efecto invernadero es la principal causa del cambio climático, y esta viene dada por las emisiones acumuladas en la atmósfera. El IPCC estimó la cantidad máxima de emisiones de gases de efecto invernadero que se puede emitir en todo el planeta para limitar el aumento de la temperatura media global a 1,5 °C: 420-580 GtCO₂ para alcanzar dicho objetivo con una probabilidad del 66% y del 50%, respectivamente (IPCC, 2020). Este concepto se conoce como presupuesto global de carbono.

Por otra parte, resulta imprescindible considerar el carácter global del cambio climático para el diseño de las estrategias de descarbonización: el origen geográfico de las emisiones de gases de efecto invernadero es independiente de su efecto en el cambio climático, por lo que las emisiones de cualquier agente (individuo, comunidad, empresa o país) afectan al resto de agentes. Por tanto, el esfuerzo en la mitigación del cambio climático requiere cooperación internacional para reducir las emisiones globales de forma efectiva (IPCC, 2014). En este sentido, el Acuerdo de París, firmado por 195 países en la 21^a Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, establece mecanismos de coordinación, cooperación y supervisión, con el principal objetivo de mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2 °C con respecto a niveles preindustriales, y tratando de realizar esfuerzos para contenerlo en 1,5 °C (CMNUCC, 2016).

Un asunto especialmente relevante para la comunidad científica trata sobre la posibilidad de limitar el aumento de temperatura a 1,5 °C, como establece de forma aspiracional el Acuerdo de París. El IPCC, en su Informe Especial *Calentamiento Global de 1,5 °C* (IPCC, 2020), analiza este asunto, destacando en primer lugar que las emisiones acumuladas hasta ahora nos llevarán a un aumento adicional de 0,5 °C en las próximas décadas –hasta 1,5 °C–, por lo que los aumentos adicionales en la temperatura media global dependerán de las emisiones que realicemos a partir de ahora. En cuanto a los riesgos, aumentan cuando lo hace el calentamiento global: el deshielo del Ártico y los ecosistemas terrestres son los sistemas que sufren cambios más significativos al pasar de 1,5 °C a 2 °C, como puede observarse en el gráfico 3.

¹ La neutralidad climática consiste en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero hasta el punto en el que las que se produzcan puedan ser compensadas por los sumideros naturales (como bosques u otros ecosistemas).

Gráfico 3 – Impactos y riesgos para sistemas naturales, gestionados y humanos



Fuente: IPCC, 2020.

Aunque, si atendemos al informe del IPCC, el mayor impacto sería distributivo. El cambio climático no se reparte de forma homogénea por todo el planeta, habiendo lugares que sufrirán de forma más severa sus efectos. El impacto en los países más vulnerables se reduce significativamente en los escenarios de menor calentamiento.

El IPCC también concluye que, para alcanzar el objetivo de 1,5 °C, haría falta alcanzar emisiones netas nulas en 2040, lo que supondría llevar a cabo una transición sin precedentes históricos, con una reducción de las emisiones de entre un 75% y un 90% para el año 2050. Estas reducciones contrastan con las necesarias para el objetivo de 2 °C, que se sitúan entre el 50% y el 80% para 2050. En términos de inversión, esto se traduce en un 12% más de recursos destinados a la transición respecto al escenario de 2 °C, siendo los costes marginales de abatimiento² entre tres y cuatro veces mayores (IPCC, 2020). Además, la complejidad de las actuaciones necesarias aumenta considerablemente, debido al volumen de estas.

1.1. El Acuerdo de París

El Acuerdo de París nace como respuesta al reto global del cambio climático y ante la necesidad de cooperación entre todos los países del mundo (CMNUCC, 2016). Es un acuerdo vinculante que se aplica respetando los principios de equidad, de responsabilidades comunes pero diferenciadas y teniendo en cuenta las capacidades de cada país. En él se establece que los países deben presentar planes vinculantes de acción climática, conocidos como Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, según sus siglas

² Los costes marginales de abatimiento son los costes de reducir una unidad de gases de efecto invernadero. Habitualmente son crecientes: cuanto más se reduce, más cuesta reducir la última unidad, al haber utilizado ya las opciones más baratas.

en inglés), donde se describen las medidas que tomarán para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, tanto de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para mitigar el cambio climático, como para la creación de resiliencia y adaptación a sus efectos.

El Acuerdo de París cuenta con diversos mecanismos para tratar de garantizar su cumplimiento. Por una parte, se incluye un ciclo de revisión que establece que, cada 5 años, se debe evaluar el estado de implementación de las medidas comprometidas en los NDC, así como fijar nuevas medidas que aumenten la ambición climática (UNFCC, 2022). También se crean otros mecanismos importantes para la implementación del acuerdo. Por un lado, se movilizan fondos de financiación por valor de 100.000 millones de dólares anuales para ayudar en sus planes climáticos a los países menos desarrollados y pequeños Estados insulares (UNFCC, 2020). Por otro lado, el artículo 6 del acuerdo establece dos mecanismos de cooperación voluntaria entre países (UNFCC, 2021): el primero se trata de un mecanismo de mercado que permite intercambiar o transferir las reducciones de emisiones entre países, mientras que el segundo es un mecanismo no comercial que pretende fomentar la cooperación en materia de mitigación, adaptación, transferencia de tecnología y fomento de las capacidades. Por último, el Mecanismo de Varsovia para Daños y Pérdidas reforzará el apoyo a los países vulnerables que sufran efectos adversos provocados por el cambio climático y para los que la adaptación ya no sea posible (UNFCCC, 2022).

Cabe destacar el efecto que la pandemia ha tenido en las actividades políticas climáticas a nivel internacional. La COP26, prevista para noviembre de 2020 en Glasgow, fue retrasada, lo que a su vez implicó un retraso para la conclusión de los temas pendientes del Acuerdo de París: la concreción del libro de reglas técnicas del artículo 6 (UNFCC, 2022a) y la primera revisión de las Contribuciones Nacionales (NDC). Estas cuestiones debieron esperar hasta noviembre de 2021. Sin embargo, la pandemia no ha impedido que distintos países se comprometieran en su ambición climática. Quizá los compromisos más relevantes adquiridos en la COP26 fueran los de neutralidad climática por parte de China para el año 2060 y de la India para 2070. Además, en enero de 2021, Estados Unidos solicitó su reincorporación al Acuerdo de París.

1.2. Pacto Verde Europeo (European Green Deal)

En este contexto global, la Unión Europea ha adoptado un paquete de medidas denominado Pacto Verde Europeo, con el objetivo de avanzar en la descarbonización de su economía. Para ello, la UE deberá realizar una transición ecológica sin precedentes, que rompa el vínculo entre crecimiento económico y el uso de recursos naturales o medioambientales.

Bajo el paraguas del Pacto Verde Europeo se han llevado a cabo una serie de iniciativas que incluye:

- La *Ley Europea del Clima*, que recoge el objetivo de neutralidad climática para la Unión Europea en el año 2050 (Regulation (EU) 2021/1119). Se establece el objetivo intermedio de reducción en un 55% de las emisiones netas en 2030 con respecto a niveles de 1990 (en la actualidad, la reducción es del 24% con respecto a niveles de 1990), y se describe el proceso por el que se acordará el siguiente objetivo intermedio de reducción a 2040. Se implementan medidas para supervisar el progreso y ajuste de las acciones climáticas de los países miembros, cuya base son los Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima (PNIEC), donde cada Estado detalla las medidas concretas que implementará para alcanzar sus objetivos (European Commission, 2022c). También se abordan otros pasos necesarios para alcanzar los objetivos climáticos, como la mejora de los sumideros de carbono a través de una regulación más ambiciosa del uso del suelo y la silvicultura, la obligación de alcanzar emisiones netas negativas a partir de 2050, la provisión de recursos para la adaptación al cambio climático o el establecimiento de hojas de ruta específicas para diferentes sectores económicos e industriales, entre otros.

- El *Pacto Europeo por el Clima*, que invita a los ciudadanos, comunidades y organizaciones a participar en la acción climática de la Unión Europea (European Commission, 2022b).

- La *Estrategia Europea de Adaptación*, que busca convertir a Europa en un continente resiliente al cambio climático en 2050 (Communication (UE), 2021).

- El *Plan del Objetivo Climático para 2030*, por el cual se aumenta la ambición climática de la UE para alcanzar en 2030 el objetivo intermedio de reducción de emisiones del 55% con respecto a niveles de 1990 (Communication (UE), 2020), en consonancia con la Ley Europea del Clima. En este sentido, la UE ha puesto en marcha el paquete legislativo *Fit for 55*, por el que se adoptan medidas y políticas comunitarias en materia de clima, energía, transporte y fiscalidad. Este paquete incluye propuestas legislativas sobre diferentes áreas: endurecimiento e inclusión de nuevos sectores en el mercado europeo de emisiones (EU ETS) (European Commission, 2022e); mayor uso de energías renovables (Amending Directive (EU), 2021a); fomento de la inversión en eficiencia energética (Proposal, 2021a); impulso de los modos de transporte, combustibles e infraestructuras de bajas emisiones (Amending Regulation (EU), 2021a,b,c,d); alineación de las políticas fiscales (Amending Directive, 2021b); medidas que eviten la fuga de carbono (Proposal, 2021b), como el Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono; y herramientas para preservar y aumentar los sumideros naturales de carbono.

Además, se crea el Fondo Social para el Clima, con el que se pretende suavizar el impacto social que la transición pueda causar, ayudando a los hogares vulnerables, microempresas y usuarios de transporte. Este fondo se financiará con cargo al presupuesto de la UE, con un importe equivalente al 25% de los ingresos previstos del comercio de derechos de emisión para los sectores de la edificación y el transporte (European Commission, 2022a).

Por fortuna, la Unión Europea tiene una oportunidad histórica tras la pandemia. El paquete de estímulo que financiará a los Estados miembros incluirá la condicionalidad verde. En este sentido, el 30% de los programas por valor de dos billones de euros enmarcados en el marco financiero plurianual 2021-2027 y Next Generation EU se dedican a apoyar la acción por el clima, y el 37 % de los 723.800 millones de euros del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, que financiará los programas nacionales de recuperación de los Estados miembros con cargo a Next Generation EU, también se asigna a la acción por el clima (European Commission, 2022a).

1.3. Escenarios globales: ¿Qué dicen los principales informes sobre los escenarios futuros en la descarbonización de la economía global?

Para entender las posibles sendas de descarbonización que podrían transitar nuestras economías, resulta de especial interés conocer los estudios de prospectiva que realizan algunas empresas e instituciones. Estos estudios suelen ser de carácter anual o plurianual, y tienen fines similares: prepararse para el futuro. A continuación, presentamos de forma muy resumida las principales conclusiones de los estudios públicos más conocidos y con mayor prestigio en el sector energético.

El informe anual *World Energy Outlook 2020* (IEA, 2020) de la Agencia Internacional de la Energía (IEA) es una referencia indiscutible en el sector energético mundial. En él se deja claro desde el principio que la pandemia podría suponer una reducción de los esfuerzos para lograr sistemas energéticos más seguros y sostenibles, o un catalizador para acelerar los cambios que son necesarios. Apuntan a la oportunidad histórica que suponen los diferentes programas de recuperación que pueden llevarse a cabo.

La energía solar se convertiría en la fuente de generación eléctrica más importante, creciendo fuertemente en todos los escenarios planteados. Aun así, la energía hidráulica continuaría como la mayor fuente de energía renovable, siendo la solar el principal vector de crecimiento, seguido por la eólica *onshore* y *offshore*. Por su parte, la demanda de gas natural parece

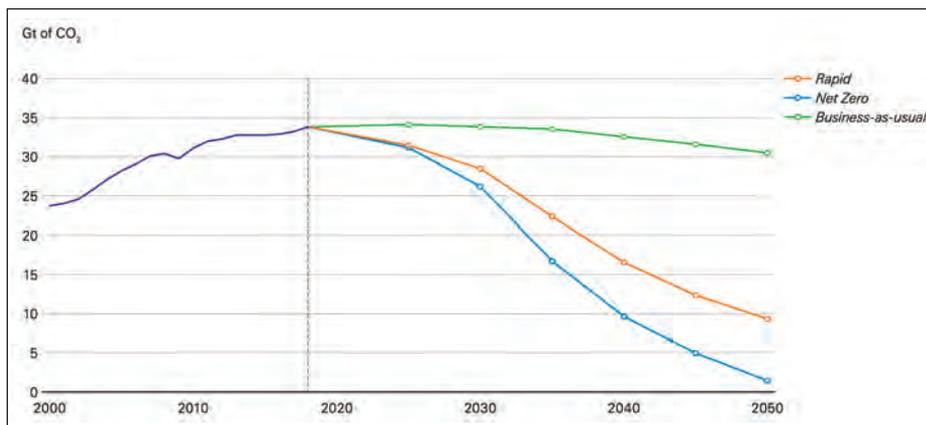
estar sujeta a mucha incertidumbre, ya que puede variar mucho según las políticas implementadas, especialmente en Asia.

Un aviso importante de este informe es que, a pesar de que las emisiones globales tendrán un efecto rebote más lento que tras la crisis financiera de 2008, el mundo aún está muy lejos de una recuperación sostenible. Una recuperación económica más lenta supone menores emisiones a corto plazo, pero también tiene consecuencias negativas a largo plazo: menores precios de los combustibles hacen que las inversiones para mejorar la eficiencia tengan periodos de retorno (para recuperar dicha inversión) más largos, entorpeciendo el incremento de la eficiencia energética global. Sin embargo, los planes de recuperación ofrecen una oportunidad para el crecimiento económico y la creación de empleo, pero también para la reducción de emisiones.

Por otra parte, simplemente evitar nuevas emisiones no sería suficiente. Si toda la infraestructura energética actual y la que está en construcción siguiera operando como hasta ahora durante toda su vida útil, generaría una cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que por sí solas incrementarían la temperatura de la tierra en 1,65 °C.

El sector eléctrico es importante para la descarbonización, pero no es el único. Reducir las emisiones de la generación eléctrica parece alcanzable, y la electrificación de algunos sectores es una solución efectiva en costes. Sin embargo, otros sectores como la industria del acero o el cemento, así como el transporte de larga distancia, entre otros, tienen importantes desafíos para la descarbonización. Seguir reduciendo las emisiones más allá de 2030 requerirá enfocarse en mejorar la eficiencia energética y de materiales, en la electrificación y en el papel de los gases y combustibles renovables.

El *BP Energy Outlook 2020* (BP, 2020) considera tres escenarios a 2050 (gráfico 4): el *Rapid* contempla una serie de políticas que incrementan el precio del carbono e implementan medidas concretas en ciertos sectores (industria, edificios y transporte), de forma que las emisiones procedentes del sector energético caigan en torno a un 70% para 2050, enfocadas en alcanzar el objetivo de 2 °C; el *Net Zero*, que asume las mismas políticas que en el escenario *Rapid*, pero además incluye profundos cambios en el comportamiento social, lo que aceleraría la reducción de emisiones (estas caerían más de un 95% para 2050, siendo un escenario consistente con el objetivo de 1,5 °C); y el *Business as usual (BAU)*, que plantea que las políticas públicas, la tecnología y el comportamiento social siguen evolucionando al mismo ritmo que en el pasado reciente.

Gráfico 4 – Emisiones de CO₂ por escenario

Fuente: BP, 2020.

En el escenario BAU, el carbón y el petróleo caen mucho, especialmente el primero, que casi desaparece en 2050. En el caso del petróleo, el transporte es el principal responsable de su bajada. El pico de la demanda se produce a finales de la década de 2020, aunque indican que siguen haciendo falta importantes inversiones para sostener esa demanda creciente.

El gas se mantiene más estable, tanto en cuota como en valor absoluto, mientras que la energía nuclear e hidroeléctrica crecen, la primera principalmente en China y la segunda tanto en China como en Sudamérica y el resto de Asia. Para el gas suponen bastante CCUS (captura, secuestro y utilización de carbono), siendo un 40% en Rapid y un 75% en Net Zero, con una parte destinada a hidrógeno azul (el obtenido a partir de gas natural, con captura de carbono), especialmente importante en Net Zero. El gas destinado a producción eléctrica sufre una caída pronunciada en los dos escenarios de descarbonización, ya que suben mucho las renovables.

Las renovables aumentan notablemente en los escenarios de descarbonización, a partes iguales entre solar fotovoltaica y eólica, siendo la reducción de costes un 25% para la eólica y un 60% para la fotovoltaica. La biomasa también crece mucho en importancia, especialmente los biocombustibles para aviación.

El escenario Net Zero plantea que la transición energética tiene importantes limitaciones económicas y políticas si solo se apoya en políticas públicas. Para alcanzar cambios más profundos hacen falta cambios de comportamiento de ciudadanos y empresas, implementando mecanismos de economía circular, economía compartida, propensión al cambio hacia

energías renovables y menor resistencia a la implantación de tecnologías bajas en emisiones.

El informe *The Energy Transformation Scenarios* (2021), de Shell, plantea tres escenarios en los que la descarbonización de la economía se produce a ritmos diferentes y con fechas de inicio que varían según el caso. Las tecnologías necesarias para la descarbonización, el peso de la energía solar y eólica, varía según el escenario, aunque son importantes en todos ellos, así como el uso de biocombustibles. Los sumideros, tanto naturales como de captura y almacenamiento, tienen mucha importancia. Con respecto a estos últimos, señalan que la CCUS es una tecnología imprescindible para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, aunque el carbono utilizable en la manufactura de productos es mucho menor que el capturado, por lo que parece un desafío importante resolver su uso o almacenamiento. Por último, las inversiones para producción de crudo y gas siguen siendo necesarias en todos los escenarios considerados, aunque vayan reduciéndose con el tiempo. Especialmente la demanda de gas natural parece bastante robusta durante toda la década de 2020, aunque tras este periodo existen grandes incertidumbres a ese respecto.

El informe *New Energy Outlook 2021* (BNEF, 2021), de Bloomberg New Energy Finance, plantea tres escenarios Net Zero para el año 2050. El análisis, que tiene en cuenta la evolución hasta 2050 para garantizar el cumplimiento con el presupuesto de carbono, estima que la reducción de emisiones es limitada hasta 2030 y se acelera hacia 2040 y 2050. Los objetivos intermedios para 2030 están enfocados principalmente en la descarbonización del sector eléctrico, así como en una electrificación importante de edificios, transporte e industria. El transporte necesitaría añadir 35 millones de vehículos eléctricos cada año para alcanzar los 355 millones en 2030, lo que supondría aproximadamente un 17% del parque mundial de vehículos. Destacan el importante papel que jugarán el despliegue del hidrógeno, la tecnología CCUS y la energía nuclear durante esta década. En cuanto a los objetivos a 2050, estiman que la electrificación solo alcanzará el 50% de la energía final. El porcentaje de energía renovable en el sector eléctrico se situaría entre el 62% en el escenario Gray y el 84% en el Green. El gas vive un breve *boom*, mientras sustituye al carbón y no se despliega el hidrógeno, pero desaparece rápidamente después.

El informe *World Energy Transitions Outlook: 1.5 °C Pathway*, de IRENA (2021), se centra en la forma de alcanzar el objetivo de 1,5 °C del Acuerdo de París. Indican que las políticas actuales son muy insuficientes para conseguir este objetivo. Para alcanzarlo en 2050, IRENA considera que más del 90% de las soluciones se pueden lograr con el uso de renovables, la electrificación, la eficiencia energética, el hidrógeno verde y la bioenergía combinada con CCUS (BECCS).

En 2050, la electricidad supondrá el 50% del consumo total de energía final, frente al 21% en 2018, por lo que la electrificación es un elemento clave. Esto transformará varios sectores, especialmente el transporte, en el que los vehículos eléctricos serán el 80% del parque global de vehículos.

La intensidad energética debería mejorar en un 2,9% anual, lo que supondría aumentar la tendencia histórica dos veces y media. Esto puede lograrse mejorando la eficiencia energética, que se apoya en tecnologías ya disponibles que pueden escalar de forma significativa. También se requerirá un cambio de comportamiento, que podría suponer un 10% de esta mejora.

El hidrógeno será un vector energético de gran importancia, contando con una cuota de consumo de energía final en 2050 del 12%. Esto permitiría descarbonizar sectores intensivos en el uso de energía como la industria acerera, la química, el transporte de largo recorrido, el transporte marítimo y la aviación. También se espera que juegue un papel importante en la estabilización del sistema eléctrico, así como en el almacenamiento estacional. Estiman que en 2050 dos tercios del hidrógeno sea verde (obtenido de fuentes renovables) y un tercio azul.

La bioenergía representará el 18% del consumo de energía final en 2050, siendo especialmente importante en la industria química y en la aviación. El uso combinado de biocombustibles con CCUS en el sector eléctrico y en algunas industrias permitiría alcanzar emisiones negativas que son necesarias para lograr el objetivo de emisiones netas cero. En otras industrias donde sea complicado sustituir el consumo de fuentes fósiles, el uso de CCUS puede ayudar a abatir sus emisiones.

En cuanto a la financiación, se deben movilizar unos 131 billones de dólares en el periodo hasta 2050 para alcanzar el objetivo de 1,5 °C, mientras que, en la actualidad, los Gobiernos solo han comprometido movilizar 98 billones en este mismo periodo. En este sentido, se concluye que el esfuerzo económico debe crecer. También, se considera que la financiación pública debe duplicarse para poder catalizar la inversión privada y garantizar que la transición sea justa e inclusiva.

2. El sistema energético español, breve diagnóstico de la situación actual

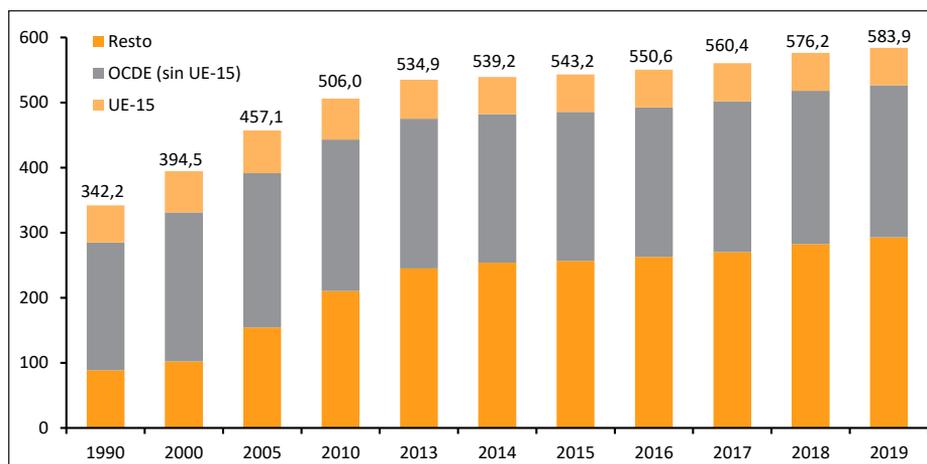
2.1. Situación de los principales indicadores del sistema energético español

En primer lugar, para entender bien la situación del sistema energético español, conviene contextualizarlo en el marco energético global y europeo.

Es importante destacar la situación tan excepcional que la pandemia de la COVID-19 ha traído al sector energético en todo el planeta durante los últimos años, con consecuencias importantes en el consumo de energía y sus implicaciones ambientales. Las restricciones de actividad y de movilidad impuestas para luchar contra los contagios han modificado profundamente los patrones de utilización de la energía, provocando la mayor caída de consumo energético global desde la Segunda Guerra Mundial, resultando en el mayor descenso de las emisiones globales de la historia. Sin embargo, para entender bien la evolución del sistema energético global y su inercia, conviene retrotraerse al periodo previo a la pandemia y así poder entender bien su evolución estructural.

En términos cuantitativos, en el periodo previo a la pandemia, el consumo de energía primaria³ global creció a un ritmo del 1,3% entre 2018 y 2019 (gráfico 5). Esta tendencia creciente se prevé que se mantenga tras el *shock* en la demanda, empujado principalmente por los países en desarrollo. En el mismo periodo, el consumo de energía primaria en la UE-15 descendió un 1,2%, lo que consolida el cambio de tendencia. De igual manera, en España se observó un descenso del 2,3%. Así, el consumo de energía primaria en España se mantendría en niveles inferiores a los de 2008, al comienzo de la crisis económica. Entre los años 2018 y 2019 la fracción de la energía primaria mundial que se consume en la OCDE ha seguido descendiendo, situándose en torno al 40% a finales de 2019 (Comillas, 2021).

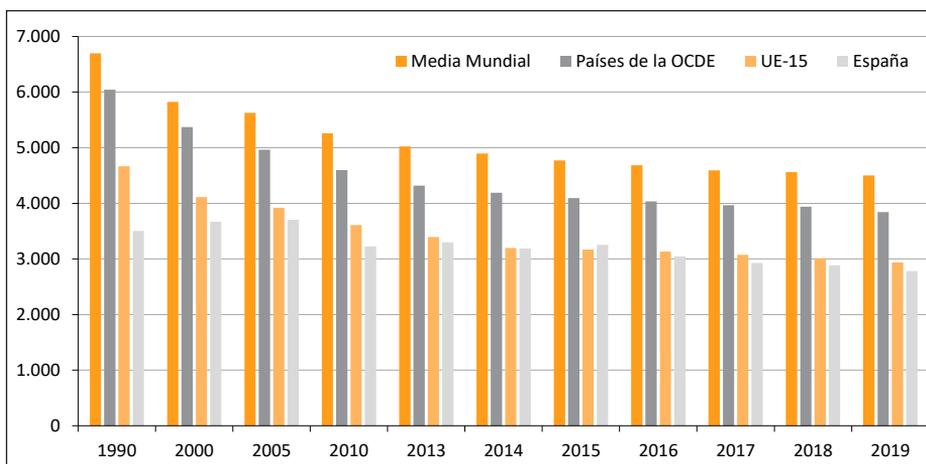
Gráfico 5 – Evolución del consumo total de energía primaria. 1990-2019



Fuente: Universidad Pontificia Comillas, 2021.

³ La energía primaria es la energía contenida en los combustibles.

Gráfico 6 – Evolución de la intensidad energética primaria. En GigaJulios por millón de dólares constantes en paridad de poder de compra de 2011. 1990-2019



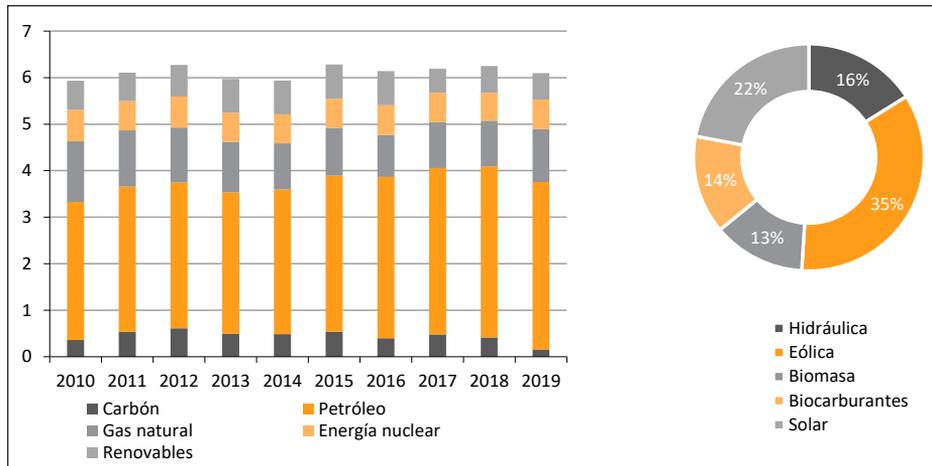
Fuente: Universidad Pontificia Comillas, 2021.

En cuanto a la intensidad energética primaria⁴ (gráfico 6), se observa una reducción entre 2018 y 2019 en la media mundial (1,4%) y en los países de la OCDE (2,4%). La tendencia a la baja fue similar en el área UE-15, con un descenso del 2,5%, y en España, con una bajada del 3,6%. El hecho de que el descenso de la intensidad energética primaria en nuestro país fuera superior al de la UE-15 en el año 2019 nos permitió reducir la brecha existente con el resto de los países europeos. Sin embargo, este indicador en España permanece un 14,5% por encima de la media UE-15. Entre los años 2000 y 2019, la intensidad energética primaria en la UE-15 se redujo en casi un 29% mientras que en España esta reducción fue de poco más de un 24% (medida en euros constantes de 2015).

En cuanto al conjunto de combustibles utilizados para producir energía, el carbón ha completado casi por completo su desaparición del mismo (gráfico 7). Las energías renovables tuvieron un peso del 9,3% en el mix primario y de aproximadamente el 38,2% sobre la producción de electricidad en 2019. La mayor contribución correspondió a la eólica y la solar. En su conjunto, la dependencia energética de España respecto del exterior se situó en un 90,4%.

⁴ La intensidad energética primaria se define como la cantidad total de energía primaria utilizada por un país, dividida por el valor añadido generado en el mismo periodo. Esto es, es la energía primaria que hace falta para generar una unidad de valor añadido.

Gráfico 7 – Evolución del consumo de energía primaria en España 2010-2019 y composición de energías renovables en energía primaria en España en 2019

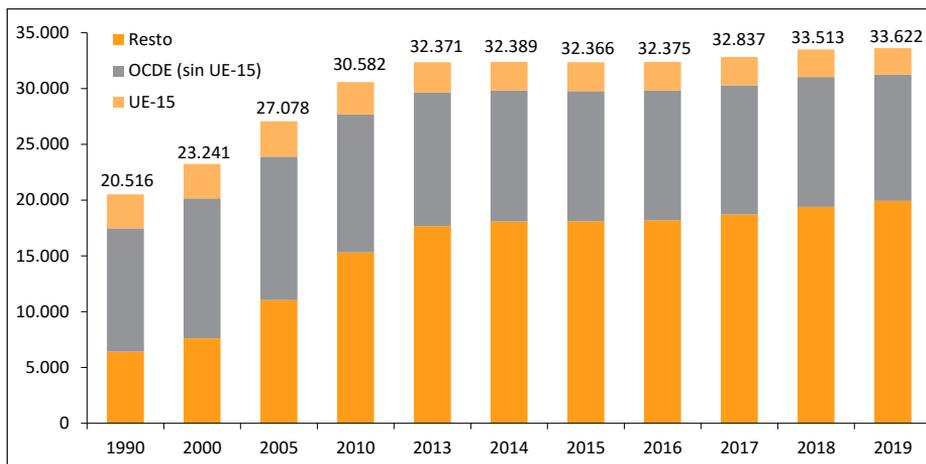


Fuente: Universidad Pontificia Comillas, 2021.

En cuanto al análisis sectorial, cabe destacar que la demanda del sector del transporte ha mantenido una senda ascendente. El transporte sigue siendo el sector que más energía consume (más del 25% del consumo total de energía primaria o cerca del 39,5% de la energía final⁵) y el que más emisiones de CO₂ causa (más del 24% del total de emisiones y en torno al 47,6% una vez descontadas las asociadas a los autoconsumos, las pérdidas y las exportaciones). Por tanto, este sector sigue siendo prioritario en cuanto al diseño de una política energética sostenible.

Las emisiones globales de CO₂ aumentaron en el año 2019 un 0,3% respecto a 2018, superando los 33.600 millones de toneladas (gráfico 8). Volviendo a la tendencia descendente de los últimos años, únicamente interrumpida en 2018, las emisiones disminuyeron un 2,8% en el conjunto de los países de la OCDE. Este descenso se produjo tanto en las emisiones en la UE-15 (4,9%) como en las del resto de los países de la OCDE (2,3%). Respecto al año 2000, las emisiones de CO₂ por uso de energía han subido globalmente más de un 44%, mientras que en los países desarrollados han disminuido (un 9,8% en el conjunto de la OCDE y un 23,4% en la UE-15).

⁵ La energía final es la cantidad de energía medida en el punto más cercano posible al consumo, una vez descontadas las pérdidas asociadas a la transformación de los combustibles.

Gráfico 8 – Evolución de las emisiones globales de CO₂. En millones de toneladas. 1990-2019

Fuente: Universidad Pontificia Comillas, 2021.

Analizando el caso español en el año 2019 en mayor detalle, las emisiones de CO₂ imputables al consumo de energía primaria (neto de exportaciones) disminuyeron un 6%, cayendo por debajo de los 300 millones de toneladas. De igual manera, las emisiones per cápita en 2019 descendieron un 6,7%, al igual que la intensidad de las emisiones, que disminuyó un 7,8% en 2019. En definitiva, puede decirse que el sector energético español experimentó una mejora generalizada de sus indicadores de emisiones en el año 2019.

Esta reducción de emisiones de CO₂ puede explicarse a partir de distintos factores, no únicamente relacionados con el tipo de combustibles empleados. Así, es posible descomponer la reducción en cuatro elementos: la mejora de la eficiencia energética, la intensidad de carbono, el efecto estructural (el cambio en el peso de los distintos sectores en la economía) y el nivel de actividad económica. El aumento de actividad económica experimentado en 2019 hubiera supuesto un aumento de emisiones de unos 5,2 MtCO₂, pero fue compensada fundamentalmente por una fuerte reducción de la intensidad de carbono de la economía debida a la sustitución de carbón por gas natural (a la que por sí misma se podría atribuir una reducción de 20 MtCO₂), que incide también en la mejora de la eficiencia, a la que se atribuye una reducción de unos 9 MtCO₂. El efecto estructural ha supuesto por su parte una reducción de 1,2 MtCO₂.

En conclusión, el sistema energético español ha mejorado en los últimos años prácticamente todos los indicadores de sostenibilidad asociados al consumo y las emisiones, gracias a un descenso muy significativo en el uso

de carbón para la producción de electricidad. A diferencia de lo que ocurría en años anteriores, las buenas noticias no se deben a factores ambientales no controlables, como el ciclo hidrológico, sino a cambios, en principio perdurables, en las fuentes de energía primaria empleadas.

2.2. Estado actual de la transición energética en España

La transición energética española se basa en los objetivos a 2050 de neutralidad climática nacional, 100% de energías renovables en el mix eléctrico y 97% de renovables en el mix energético total. Para ello, deberá producirse un masivo desarrollo de energías renovables –particularmente de la solar y la eólica–, mejorar la eficiencia energética, electrificar los usos finales de la energía y desarrollar la producción de hidrógeno renovable.

Como hemos visto, los principales indicadores del sistema energético español avanzan en la buena dirección para la descarbonización. Sin embargo, el mix energético español sigue fuertemente dominado por los combustibles fósiles y aún hay asignaturas pendientes en materia de sostenibilidad.

Por un lado, la dependencia energética del exterior sigue siendo muy elevada, superior al 90%. Adicionalmente, el sector del transporte, que continúa siendo el principal emisor y consumidor de energía de la economía española, no deja de incrementar su demanda, tanto para transporte de viajeros como de mercancías. Además, la mayor parte de este aumento lo absorbe el transporte por carretera, menos eficiente y difícil de descarbonizar que otros medios como el ferrocarril.

También es preocupante el aumento de la factura energética, a pesar de la disminución del consumo de energía. Esta situación se ha visto especialmente agravada desde el año 2021, principalmente como consecuencia de los altos precios del gas natural y el crudo. La única solución a este respecto, más allá de mejoras en la fiscalidad que pueden ser únicamente transferencias, es la promoción del ahorro energético y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, cuyos precios y volatilidad están fuera de nuestro control.

La estrategia energética de España emplea el principio de “primero la eficiencia”. La reducción del consumo energético es una de las prioridades de la transición, y España ya ha comenzado a desvincular el crecimiento económico del consumo de energía. La intensidad energética, la relación entre el consumo energético y el PIB, cayó un 18% entre 2008 y 2019 (IEA, 2021).

En lo relativo a la transición eléctrica, tras un periodo, entre 2013 y 2018, en el que las inversiones se redujeron por la falta de medios financieros para promover las energías renovables, las inversiones crecieron nuevamente

a partir de 2019. La participación de las energías renovables (incluidos los residuos no renovables) en el mix eléctrico creció del 24 % en 2009 al 38% en 2019 (IEA, 2021). Sin embargo, un asunto importante a considerar es el relativo a la generación nuclear, que supuso en 2019 el 22% de la generación eléctrica en España. Entre los planes se encuentra que las plantas nucleares comiencen su desmantelamiento en el año 2027, siendo en 2030 cuando se prevé el cierre de cuatro de las siete centrales nucleares españolas, lo que supondrá desconectar 4 GW de capacidad. Esto será un reto debido a la estabilidad que la nuclear aporta al sistema.

Además, el gas natural, un combustible fósil cuyo uso también se prevé reducir hasta su eliminación, genera alrededor de un tercio de la electricidad total en España, mediante las plantas de ciclo combinado, y jugará un papel importante en el equilibrio del sistema eléctrico cuando la energía nuclear haya desaparecido, debido a la variabilidad que presentan la eólica y la solar. Una salida simultánea del sistema del gas natural y la nuclear podría tener impactos importantes en tal equilibrio, así como en los costes que asumirán los consumidores finales. Esta falta de estabilidad en el sistema podría compensarse con mayor capacidad de almacenamiento, interconexiones o gestión de la demanda, entre otras opciones (IEA, 2021).

Para ello, es importante asegurar señales de inversión a largo plazo, no solo para el crecimiento de la eólica y la solar, sino también para otras soluciones como el almacenamiento. Con este objetivo, España ha actualizado el mecanismo de subastas, generando certidumbre y facilitando el soporte financiero para el desarrollo de estas fuentes energéticas. La primera subasta bajo la nueva normativa se produjo en enero de 2021 (MITECO, 2022e).

En lo referente a la actividad política nacional, los últimos años han sido particularmente ricos en iniciativas y normas que afectan al ámbito energético-ambiental, en línea con la creciente ambición internacional.

Uno de los desarrollos legales más importantes ha sido la aprobación, en mayo de 2021, de la normativa fundamental que regulará la transición: la Ley de Cambio Climático y Transición Energética. Esta norma fija los objetivos a medio y largo plazo, e incluye medidas concretas para su consecución. Algunas de estas medidas pasan por la prohibición de nuevas actividades de exploración y producción de hidrocarburos, de producción de carbón y de extracción de materiales radiactivos como el uranio. En materia de transporte, establece que, no más tarde del año 2040, todos los turismos y vehículos comerciales ligeros nuevos deberán ser cero emisiones, y obliga a los municipios de más de 50.000 habitantes a establecer zonas de bajas emisiones antes de 2023. También obliga a las gasolineras a instalar puntos de recarga de coches eléctricos. A partir de 2023, todos los edificios que no estén destinados a uso residencial y con más de 20 plazas de aparcamiento deberán contar con infraestructuras de recarga.

En junio de 2020 se aprobó definitivamente el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, que establece la senda a corto plazo para la transición. Además, durante los dos últimos años también se ha desarrollado una serie de Hojas de Ruta para facilitar y promover los avances necesarios para alcanzar los objetivos establecidos. De esta forma, en octubre de 2020 se aprobó la Hoja de Ruta del Hidrógeno, que establece una preferencia clara por el hidrógeno verde⁶ y por su utilización cerca de las instalaciones de consumo.

Por su parte, la Hoja de Ruta del Biogás⁷ (MITECO, 2022c) estima que se multiplicará por 3,8 la producción de biogás hasta el final de la década, reforzando la economía circular y fijando población en el ámbito rural. De esta forma, se prevé evitar la emisión a la atmósfera de aproximadamente 2,1 millones de toneladas equivalentes de CO₂ al año.

La Hoja de Ruta de la Eólica Marina (MITECO, 2022b), aprobada a finales de 2021, fija el objetivo de 3 GW de eólica flotante en 2030, lo que supone el 40% del objetivo europeo (7 GW). En la misma fecha se aprobó la Hoja de Ruta del Autoconsumo, que tiene la previsión de llegar hasta los 9 GW de potencia de autoconsumo instalada en 2030.

En octubre de 2020 se presentó el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, que plantea las iniciativas en las que invertir los fondos europeos Next Generation EU. Las propuestas que se formulan van en la dirección de rejuvenecer nuestro tejido productivo, estimular la competitividad de la industria, impulsar la I+D, reforzar los sectores estratégicos, implantar una agenda de reformas estructurales y además hacerlo de forma alineada con la descarbonización y la digitalización.

Finalmente, ya en febrero de 2021 se ha completado la elaboración de documentos estratégicos, en este caso con la publicación de la Estrategia de Almacenamiento Energético.

En resumen, España cuenta ya con un marco estratégico que debe permitir avanzar en la transición hacia un modelo energético más eficiente y sostenible. Sin embargo, es imprescindible traducir esta estrategia en medidas concretas que trasladen las señales correctas de actuación a inversores, operadores y consumidores.

⁶ Se entiende por hidrógeno verde el sintetizado a partir de fuentes renovables (por ejemplo, mediante electrolisis del agua alimentada con electricidad de origen renovable).

⁷ El biogás es un gas de origen biológico y no geológico. Suele obtenerse de la fermentación anaerobia de la materia orgánica (como residuos animales, lodos de depuradoras, etc.).

3. Perspectivas de evolución del sistema energético español: PNIEC y ELP

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo (ELP) para España marcan el camino a seguir para alcanzar determinados objetivos. Tanto el PNIEC como la ELP son las hojas de ruta a 2030 y 2050, respectivamente, para la transición energética en España. Por tanto, toda la legislación y las inversiones que se implementen, como la Ley de Cambio Climático, deberían estar basadas en estos planes.

3.1. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)

El PNIEC es el programa que el Gobierno de España ha planteado para cumplir con los objetivos climáticos de la Unión Europea en 2030 (IDAE, 2020). El PNIEC se desarrolló atendiendo a los objetivos de la Unión Europea para ese año:

- 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con respecto a 1990.
- 32% del consumo total de energía procedente de fuentes renovables.
- 32,5% de mejora de la eficiencia energética.
- 15% de interconexión eléctrica entre los Estados miembros.

Estos objetivos europeos se renovaron con la presentación del paquete Fit for 55, en el que se ampliaba la ambición climática, comprometiendo una reducción de las emisiones en al menos un 55% para 2030. Sin embargo, el PNIEC ya fue más ambicioso⁸ que los anteriores objetivos europeos, por lo que no se espera ningún cambio al respecto.

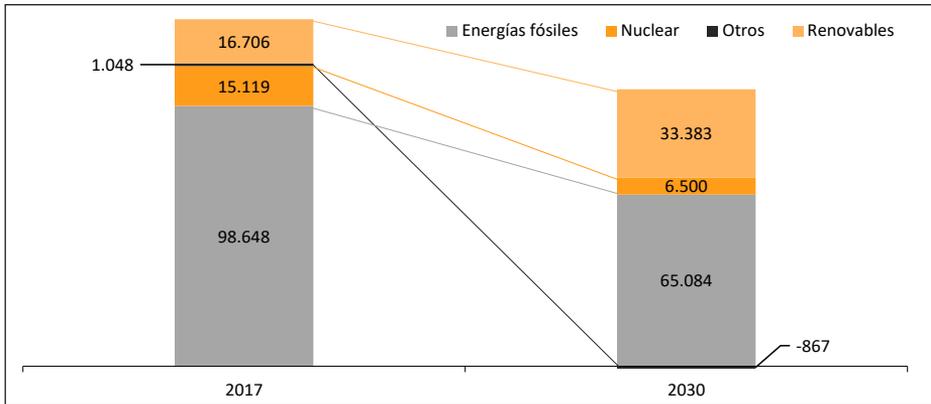
Los objetivos del PNIEC a 2030 son:

- 23% de reducción de emisiones de GEI respecto a 1990 (lo que supone una reducción del 48% respecto a 2005).
- 42% de renovables en el uso final de la energía (equivalente al consumo de energía propuesto por la UE).
- 39,5% de mejora de la eficiencia energética.
- 74% de energía renovable en la generación eléctrica.

⁸ Hay que tener en cuenta que los objetivos europeos contemplaban un aumento de las emisiones españolas hasta 2005. Cuando se compara la reducción de emisiones planteada por el PNIEC con respecto a 2005, puede verse el nivel de ambición asociado.

El consumo de energía primaria se reduciría de 123.000 ktep en 2015 a 104.000 ktep en 2030. Esta reducción se produce gracias a una disminución del consumo de todas las fuentes energéticas, salvo las energías renovables, que crecen hasta alcanzar un consumo en 2030 que representa dos veces el de 2015 (gráfico 9).

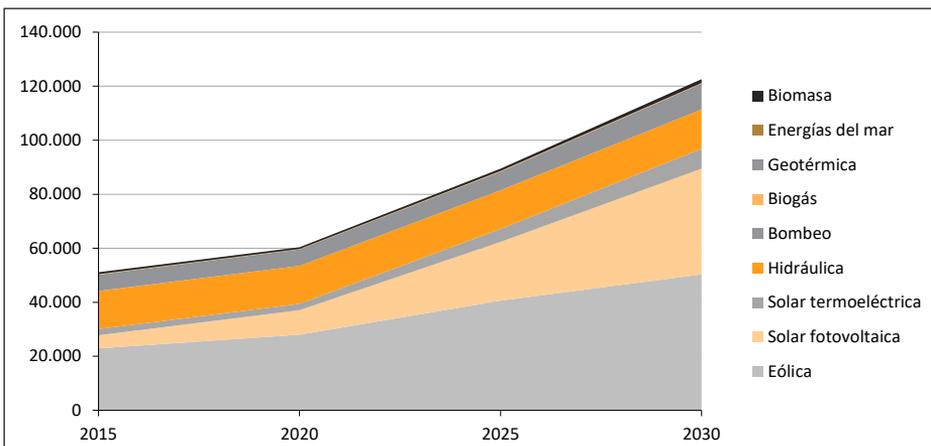
Gráfico 9 – Evolución del mix de energía primaria en España. En ktep. 2017-2030



Fuente: IDAE, 2020.

En el sector eléctrico se espera que haya 161 GW de potencia instalada en 2030, cuya composición se apoya principalmente en la instalación de energía eólica y solar fotovoltaica (gráfico 10), además de en tecnologías de almacenamiento (como el bombeo hidráulico o las baterías), que deberían aportar una potencia adicional de 6 GW, dando mayor capacidad de gestión a la generación.

Gráfico 10 – Capacidad instalada de tecnologías renovables. En MW

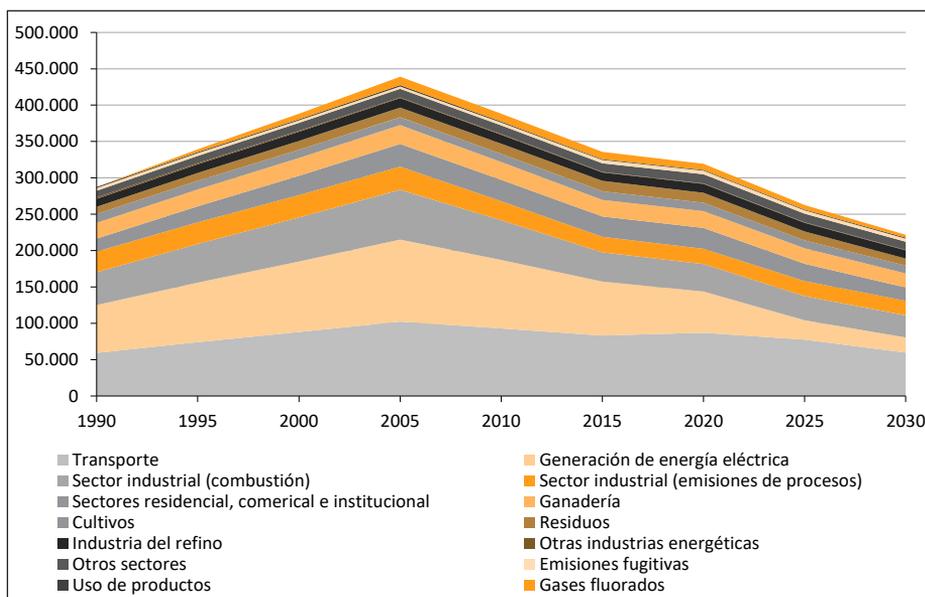


Fuente: IDAE, 2020.

El PNIEC, que se basa en los principios de neutralidad tecnológica y coste-eficiencia⁹, diferencia por sectores la responsabilidad en la reducción de las emisiones (gráfico 11): los sectores difusos (como el transporte o la edificación) contribuyen en un 39% a este objetivo, mientras que los sectores sujetos a ETS (la generación eléctrica y la industria) lo hacen en un 61%. El sector transporte conseguirá una reducción del 33%, obtenida principalmente del cambio modal (sustitución de transporte privado por transporte público), que afectaría al 35% de los pasajeros-km y estaría impulsado por medidas como el establecimiento de zonas de bajas emisiones en las ciudades. Además, el 28% de los vehículos deberían estar electrificados o utilizar biocarburantes avanzados.

En cuanto al uso de energía final, el objetivo del 42% de renovables se espera alcanzar principalmente de dos formas: por una parte, aumentando la penetración de renovables eléctricas y térmicas, y por otro, disminuyendo notablemente la demanda de energía final gracias a los avances en ahorro y eficiencia energética.

Gráfico 11 – Emisiones de CO₂ equivalentes por sector. Histórico y proyección a 2030. En KtCO₂



Fuente: IDAE, 2020.

⁹ Se entiende por neutralidad tecnológica la no consideración a priori de tecnologías prioritarias, sino de la libre competencia entre tecnologías para lograr el objetivo fijado. Por su parte, el factor coste-eficiencia supone buscar el logro de los objetivos planteados al menor coste posible.

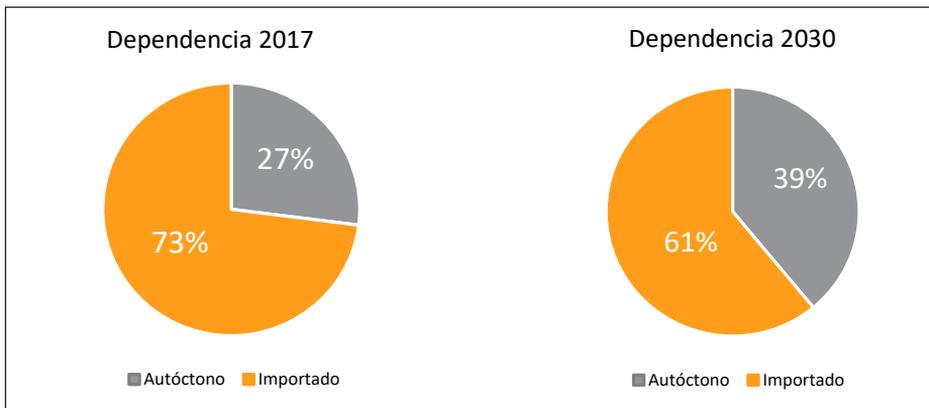
El objetivo de mejora de la eficiencia energética en un 39,5% correspondería a una mejora de la intensidad energética primaria del 3,5% anual hasta 2030. El plan propone la ejemplaridad de las Administraciones Públicas, llevando a cabo iniciativas de renovación del parque edificatorio público, que pueden incluir el cambio de equipos de climatización o el aislamiento térmico de los edificios.

En cuanto a seguridad energética, los distintos planos sobre los que se quiere abordar abarcan la reducción de la dependencia por la importación de energías fósiles, la diversificación de las fuentes, la preparación ante posibles interrupciones de suministro y el aumento de la flexibilidad del sistema energético nacional. De esta forma, la dependencia exterior pasará del 73% en 2017 al 61% en 2030, mejorando también la balanza comercial (gráfico 12). También se contempla que la transición en el sector eléctrico se haga de forma ordenada y segura, manteniendo siempre cierta capacidad de respaldo (con ciclos combinados de gas, por ejemplo) y mejorando la interconexión con nuestros países vecinos.

También se quiere dar respuesta a algunos de los retos que se presentan en el mercado interior de la energía, protegiendo a los consumidores, especialmente los vulnerables, así como reforzando la competencia y la integración en el mercado europeo. Para ello, se impulsará la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética.

Por último, el impacto económico será importante, suponiendo las inversiones totales para lograr los objetivos del PNIEC 241.412 millones de euros entre 2021 y 2030. Las inversiones se distribuirían en: ahorro y eficiencia (35%), renovables (38%), redes y electrificación (24%) y resto de medidas (3%).

Gráfico 12 – Evolución de la dependencia energética en España. En porcentaje. 2017-2030



Fuente: IDAE, 2020.

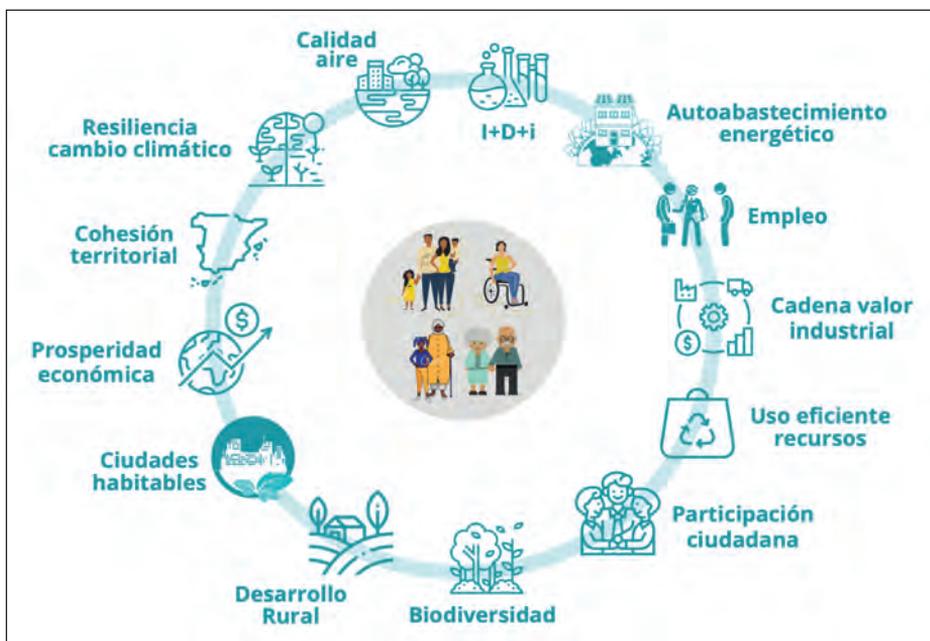
El origen de las inversiones vendría en un 80% desde el sector privado y un 20% desde el sector público. Además, se estima que haya un aumento neto del empleo de unas 300.000 personas y que tenga impactos redistributivos positivos, favoreciendo a los hogares de menor renta.

3.2. Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 (ELP)

En noviembre de 2020 se aprobó la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 (ELP), que, a partir del escenario objetivo establecido por el PNIEC, plantea las líneas maestras para alcanzar la neutralidad climática en 2050 (MITECO, 2020a). La estrategia está basada en la utilización masiva de energías renovables y en el ahorro energético. La estrategia en todo caso no plantea medidas concretas, ya que debe irse precisando en las correspondientes revisiones del PNIEC.

Su objetivo consiste en articular una respuesta coherente e integrada frente a la crisis climática, que aproveche las oportunidades para la modernización y competitividad de nuestra economía y sea socialmente justa e inclusiva (gráfico 13).

Gráfico 13 – Las oportunidades de la neutralidad climática por la aplicación del ELP



Fuente: MITECO, 2020b.

Algo importante es que la ELP no marca los cambios tecnológicos concretos en los diferentes sectores, sino que presenta una propuesta sobre esta transformación utilizando el conocimiento científico-técnico disponible en la actualidad.

Al igual que el PNIEC, la ELP se basa en los principios de neutralidad tecnológica y coste-eficiencia. Los principales objetivos específicos de la ELP son:

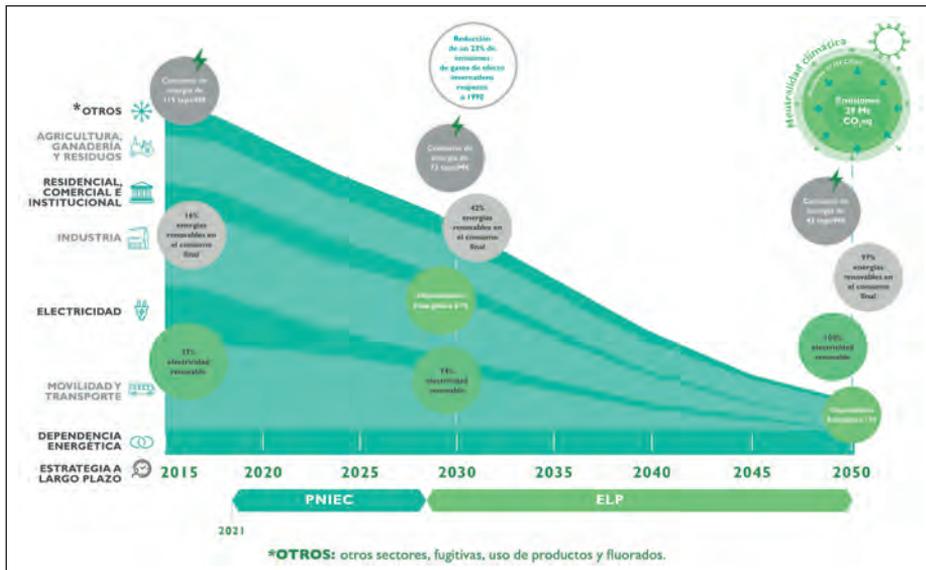
- Desacoplar el consumo de energía final del crecimiento económico.
- 97% de energías renovables en el consumo final de energía.
- 100% de renovables en el sector eléctrico.
- Disminuir la dependencia energética exterior del 73% hasta el 13%, ahorrando 344.000 millones de euros en importación de combustibles fósiles.
- Al menos la mitad de la economía estará electrificada, instalando en torno a 250 GW de potencia renovable para ello.
- Desarrollo del hidrógeno renovable y combustibles renovables.
- 90% de reducción de emisiones con respecto a 1990, alcanzando la neutralidad climática gracias a los sumideros de carbono.
- Avanzar en la adaptación al cambio climático, la cual tiene importantes sinergias con la mitigación.

La ELP marca la ambición climática de España, tratando de situarla como uno de los países europeos que impulse el cambio y apoyándose en los potenciales recursos renovables del país. Además, la transición justa ocupa un lugar importante en la ELP, indicando la importancia de la equidad y la justicia social durante la transición, que se materializa en la Estrategia de Transición Justa y en la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética. Estas estrategias se centran especialmente en los colectivos y sectores más vulnerables, así como en las regiones en Transición Justa.

El transporte deberá reducir sus emisiones cerca del 98% respecto a los valores actuales, siendo un 79% de la energía final de origen renovable. Los edificios deberán reducirlas al 100%, mientras que otros sectores más complicados de descarbonizar tienen mayor margen: la industria deberá reducir sus emisiones en un 90% y los sectores agropecuarios en torno al 60% (gráfico 14).

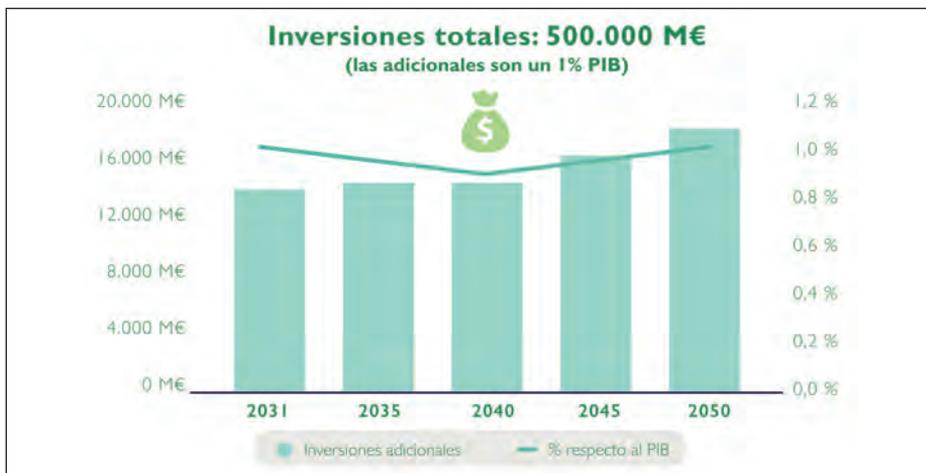
El impacto económico será positivo, con cálculos que estiman en 300.000 los empleos netos al año durante todo este periodo. Las inversiones totales acumuladas en el periodo posterior al PNIEC, 2031-2050, serán de unos 500.000 millones de euros (gráfico 15).

Gráfico 14 – Evolución prevista de las emisiones GEI por sector desde 1990 hasta 2050



Fuente: MITECO, 2020b.

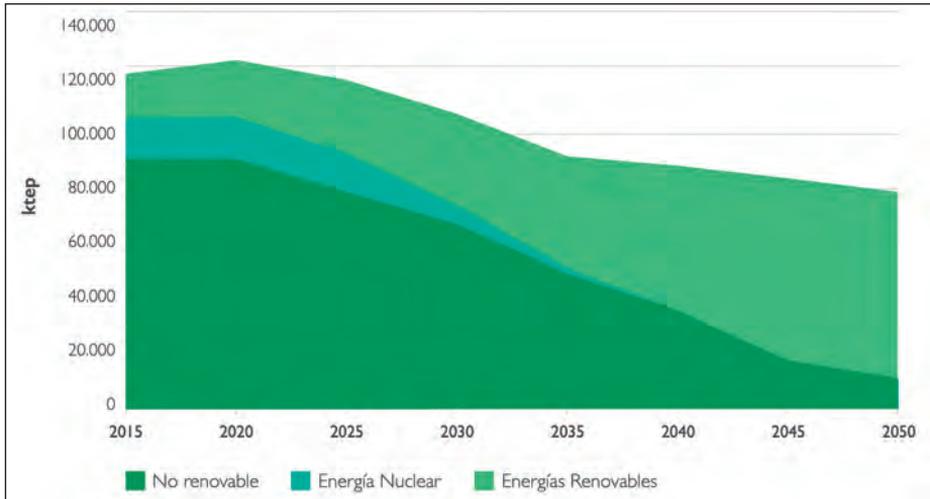
Gráfico 15 – Impacto de la aplicación de la ELP



Fuente: MITECO, 2020b.

En cuanto al consumo de energía primaria (gráfico 16), se espera que se reduzca significativamente gracias a las mejoras en eficiencia energética y al impulso de la economía circular y cambio de hábitos. Además, los combustibles no renovables disminuyen de forma importante.

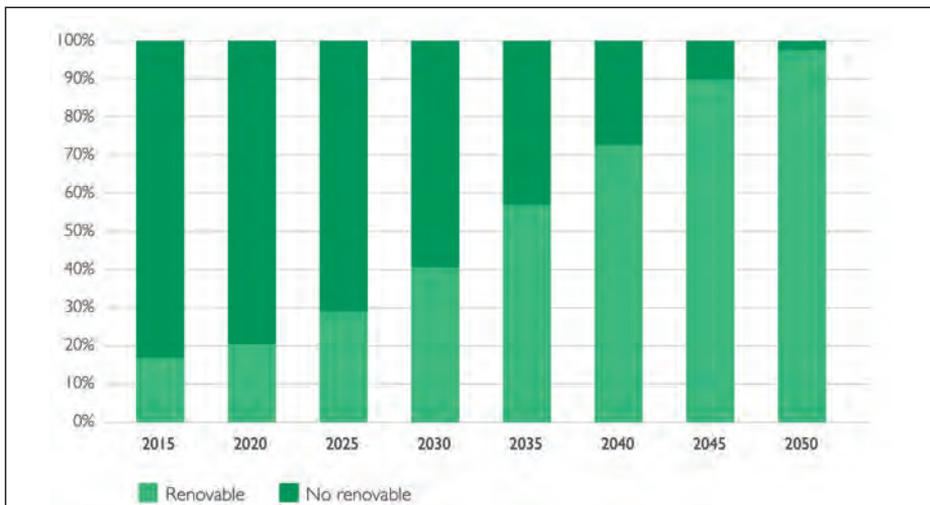
Gráfico 16 – Consumo de energía primaria en el Escenario ELP (incluye usos no energéticos)



Fuente: MITECO, 2020b.

En lo que respecta al consumo final de energía (gráfico 17), se marca la senda del porcentaje de energía renovable cada lustro, alcanzando el 97% final en 2050.

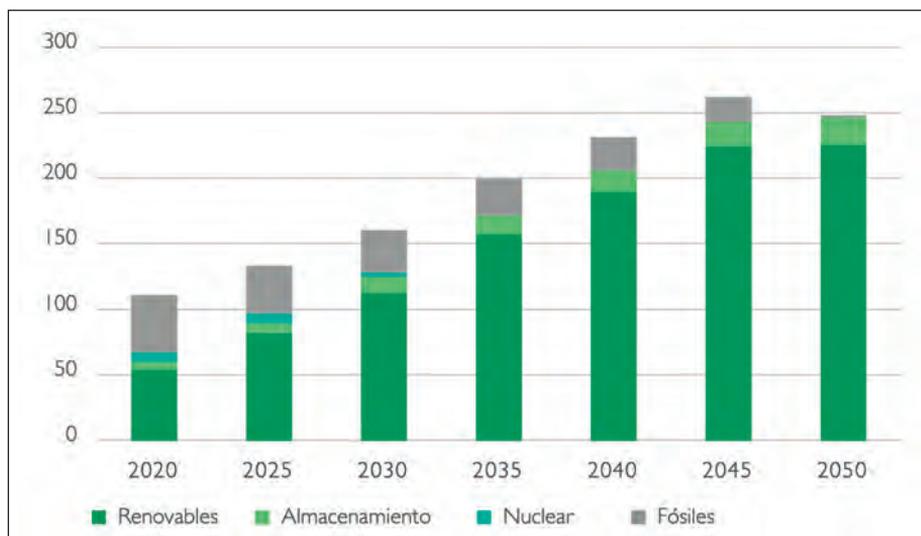
Gráfico 17 – Porcentaje de energía renovable respecto al consumo final de energía



Fuente: MITECO, 2020b.

La generación eléctrica para satisfacer la demanda tendría una tendencia creciente, alcanzando un pico en 2045 (gráfico 18). Este crecimiento recae en las fuentes renovables, además de un aumento del almacenamiento, que iría sustituyendo a las fuentes fósiles como respaldo.

Gráfico 18 – Parque de generación de energía eléctrica en el Escenario ELP (GW)



Fuente: MITECO, 2020b.

4. Retos y oportunidades de la descarbonización del sistema energético español

4.1. Sector eléctrico

El sector eléctrico constituye el núcleo de la descarbonización del sistema energético español. Por un lado, el sector eléctrico es en el que las energías renovables son más competitivas, pudiendo desplazar ya a las nuevas inversiones en energías fósiles. Por otro lado, la electricidad descarbonizada es una de las mejores opciones para descarbonizar el transporte (mediante vehículos eléctricos) o los edificios (con bombas de calor para climatización). Algunos ejercicios realizados en España (MITECO, 2020b; Linares *et al.*, 2017) muestran como en 2050 el sector eléctrico podría estar basado en un 100% en energías renovables, y que la cuota de electrificación podría alcanzar tasas superiores al 75% en los edificios y el transporte. El nivel de electrificación de la demanda total se situaría alrededor del 50%, según los escenarios, debido a la dificultad de electrificar la industria.

Además de la oportunidad que presenta esta descarbonización para el aumento del uso directo de electricidad, o para la mayor penetración de energías renovables (algo que podría conllevar además oportunidades en términos de empleo o desarrollo industrial, véase la sección sobre impactos macroeconómicos), existe otra relevante posibilidad, que es la producción de hidrógeno renovable a partir de electricidad. Este hidrógeno sería utilizado para aquellas aplicaciones industriales que no es posible electrificar o para el transporte marítimo, por ejemplo. Y además, dada la abundancia de recursos renovables en España, podría permitir desarrollar una industria de exportación de este vector energético a otros países europeos. La producción de este hidrógeno renovable supondría un crecimiento enorme en la capacidad de generación eléctrica en España.

Ahora bien, un sistema eléctrico como el descrito, basado casi en su totalidad en fuentes renovables, algunas de ellas variables, como la eólica o la solar fotovoltaica, y con un tamaño muy superior al presente, presenta importantes retos técnicos, regulatorios y políticos sobre los que conviene reflexionar y plantear soluciones de largo plazo. El Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas ha publicado recientemente un documento al respecto (Linares *et al.*, 2018) que resumimos a continuación.

Tecnologías de generación y almacenamiento

Las tecnologías que se espera que contribuyan en mayor medida al sector eléctrico descarbonizado del futuro, de acuerdo con la mayoría de los ejercicios de prospectiva tecnológica a largo plazo, son la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. Además de ellas, también tendrán participación la energía hidráulica existente, la energía termosolar, la biomasa y, durante la transición, la nuclear y el gas. A largo plazo quizá podrían entrar otras tecnologías como los reactores nucleares modulares de pequeño tamaño (SMR).

La energía solar fotovoltaica y la eólica son tecnologías ya comerciales y competitivas en muchos casos con las tecnologías fósiles alternativas. Sin embargo, presentan algunos retos técnicos relevantes: son poco programables o gestionables en el corto plazo, no contribuyen a la estabilidad eléctrica del sistema y son variables, lo que exige al resto del sistema contar con flexibilidad suficiente para no comprometer la seguridad de suministro.

Por tanto, un sistema basado mayoritariamente en estas tecnologías requiere una combinación adicional de generación “de respaldo” –que aporte flexibilidad y estabilidad al sistema (como la aportada por la hidráulica regulable o por los ciclos térmicos)–, una demanda flexible y la capacidad de almacenar energía en horas con excedentes para usarla en otros momentos

con mayor demanda. El almacenamiento podría lograrse con hidráulica regulable, bombes hidráulicos reversibles, baterías, hidrógeno u otros tipos de almacenamiento aún en desarrollo. Un aumento de la interconexión con otros sistemas eléctricos (que es actualmente muy escasa en el caso español) también podría ayudar a gestionar mejor estas tecnologías, aunque tiene otras implicaciones de mayor alcance. Será necesario, pues, desarrollar tecnologías de respaldo y almacenamiento competitivas y dar las señales adecuadas para su inversión y operación óptimas.

Finalmente, es preciso mencionar que las características modulares de la energía solar fotovoltaica y, en menor medida, de la energía eólica permitirían su despliegue también de forma distribuida (en tejados de viviendas o instalaciones industriales) conectada a las redes de distribución y no solo centralizada. La generación distribuida presenta retos adicionales en materia de visibilidad para el sistema y gestionabilidad de la misma, aunque ya existe tecnología para hacer frente a dichos retos. En cualquier caso, el reparto final entre estas dos alternativas debería venir determinado por las economías de escala y el valor adicional que puedan aportar las tecnologías distribuidas al sistema, además de otros posibles elementos o tendencias sociales. De nuevo, además de los retos técnicos, será imprescindible enviar las señales apropiadas a los agentes para lograr la combinación más adecuada.

Gestión de la demanda eléctrica

Los retos desde el lado de la demanda en el ámbito de la transición son tres: aumentar significativamente la eficiencia energética, flexibilizar la demanda (lo que se conoce como gestión activa) y electrificar los consumos finales.

El ahorro y la eficiencia energética, fundamentales en todos los sectores, permitirán reducir la necesidad de inversión en nueva generación, así como en nuevas redes y equipos de uso final. Esto permitirá un ahorro de costes del sistema y una mejora en la seguridad de suministro.

La gestión activa de la demanda, esto es, el acompasamiento de la demanda con la generación variable, será imprescindible, al permitir gestionar de manera más eficiente la producción renovable, y también integrar un mayor volumen, reduciendo además la inversión necesaria en generación de respaldo y almacenamiento. La digitalización y automatización parecen herramientas imprescindibles para lograr flexibilizar la demanda.

Por último, y como adelantábamos al comienzo, la descarbonización requiere electrificar al máximo los usos finales. Esto parece viable en el caso de la movilidad: en primer lugar en zonas urbanas y vehículos ligeros, para luego extenderse a rutas más largas y con vehículos de mercancías. En la sección correspondiente nos extendemos en los retos que presenta esta

electrificación: el despliegue de infraestructuras de recarga, el desarrollo de las baterías y la gestión eficiente de su carga y descarga. En el caso de los edificios, las bombas de calor ofrecen un gran potencial para la climatización. Los retos principales a este respecto son, además del desarrollo de bombas competitivas, la implantación de códigos de edificación adecuados y la renovación de los equipos existentes.

La electrificación de la demanda industrial es más incierta. Si bien hay procesos de baja temperatura para los que pueden desarrollarse bombas de calor, otros procesos requerirán nuevas tecnologías, aún por lograr un nivel comercial, como la oxidación, la fundición por plasma, los quemadores infrarrojos o el hidrógeno.

Redes eléctricas

El aumento de la electrificación y la descentralización del sistema eléctrico suponen importantes retos para la configuración de las redes eléctricas, tanto las de transporte como las de distribución.

Las redes de transporte deberán reforzarse a la vista de la mayor cantidad de electricidad necesaria, pero también modificar su distribución geográfica, pasando de una red basada en llevar la electricidad desde las centrales del norte hacia la demanda del centro y el sur a otra en la que los recursos renovables estarán mucho más distribuidos por el territorio.

Esta mayor distribución de los recursos renovables, que llegará hasta las propias viviendas, requerirá también un cambio de diseño radical de la red de distribución, que se ha diseñado tradicionalmente para transmitir electricidad de forma unidireccional, desde la red de transporte hasta el consumo, pero que ahora contará con flujos bidireccionales, y con una mayor variabilidad en los mismos, no solo por la generación variable distribuida, sino también por la respuesta de la demanda y el almacenamiento. La necesidad de integrar estos recursos, y además utilizarlos para la operación segura de la red, impondrá también cambios en la operación.

Este nuevo paradigma de la planificación y operación de la red de distribución –conocido como redes de distribución inteligentes o *smart grids*– supone una integración masiva de tecnologías digitales, que ya comenzó con la implantación de contadores inteligentes, pero que todavía tiene un largo camino por recorrer. Los principales desafíos en este ámbito están en el desarrollo de nuevos modelos de negocio y nuevos modelos de regulación que envíen las señales apropiadas a los agentes y aseguren la coordinación de todos ellos.

En cualquier caso, es importante recordar que estas redes inteligentes deben ser medios para alcanzar una mayor eficiencia operativa y una

descarbonización eficiente, y no fines en sí mismos. La regulación y las señales e incentivos económicos para su desarrollo deben tener en cuenta este último aspecto.

Por último, y respecto a la extensión de las redes de transporte a otros países, la interconexión eléctrica: como ya hemos mencionado, puede facilitar la integración de mayores volúmenes de energías renovables (aunque esto dependerá de factores aún no conocidos, entre otros la generación renovable en otros países), pero también puede suponer unos costes elevados, que habrá que saber distribuir apropiadamente entre todos los beneficiarios.

Seguridad de operación del sistema

La mayor penetración de renovables en el sistema eléctrico no solo supone un aumento de la variabilidad (y no controlabilidad) de la producción, sino también una importante pérdida de inercia en el sistema. La inercia, proporcionada actualmente por grandes masas rodantes como son los generadores térmicos convencionales, conocidos por ello como generadores síncronos, ayuda a mantener la frecuencia eléctrica en los límites que permiten el funcionamiento de todos los aparatos eléctricos. Si las renovables van sustituyendo progresivamente a los generadores térmicos síncronos, será necesario que o bien las renovables o los sistemas de almacenamiento aporten dicha inercia (de forma sintética, con electrónica de potencia) o bien disponer de compensadores síncronos, dispositivos que aportan inercia.

Por otra parte, frente a la variabilidad de las renovables también habrá que contar con mayores reservas de operación, es decir, potencia que debe estar disponible para producir, consumir, o dejar de hacerlo, en cualquier momento para asegurar el equilibrio entre generación y demanda.

Todas estas soluciones tecnológicas ya existen, pero hará falta diseñar los mecanismos e incentivos económicos necesarios para su despliegue en paralelo con el aumento de energías renovables en el sistema.

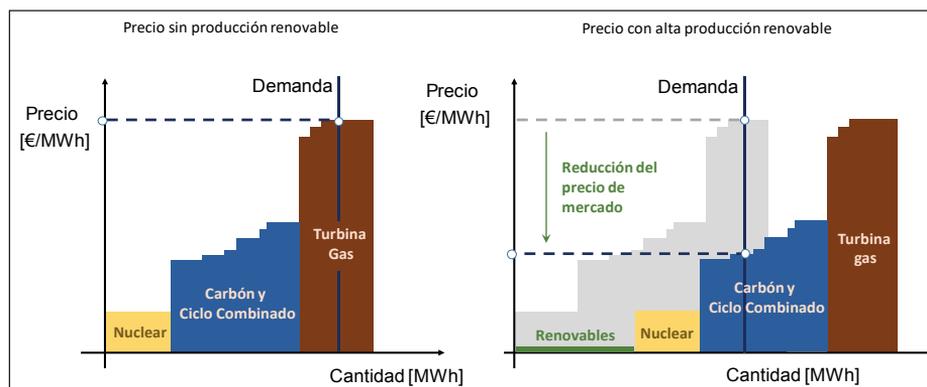
Diseño de mercado

Para poder lograr una integración masiva de las energías renovables será imprescindible revisar ampliamente el diseño de los mercados de electricidad¹⁰. A largo plazo, el objetivo fundamental es seguir ofreciendo señales

¹⁰ Frente a este enfoque de mejora del diseño actual, hay algunas voces que defienden el abandono del mercado marginalista que impera actualmente en la Unión Europea, para sustituirlo por un enfoque de planificación centralizada y remuneración por coste de servicio. También se defiende la gestión pública de las centrales hidráulicas. Sin embargo, en nuestra opinión estas propuestas también cuentan con numerosos inconvenientes y sus ventajas pueden lograrse con modificaciones del diseño actual.

adecuadas de inversión a los agentes frente al efecto “orden de mérito”¹¹, que deprime los precios del mercado (gráfico 19).

Gráfico 19 – Efecto “orden de mérito” en una determinada hora



Fuente: Linares *et al.*, 2017.

A falta de un volumen suficiente de contratación a largo plazo (que en cualquier caso será necesario estimular), será necesario contar con mecanismos complementarios (por ejemplo, mercados de capacidad, opciones de fiabilidad¹², etc.) que remuneren adecuadamente la inversión necesaria en el sistema: de almacenamiento, de potencia firme, de renovables, etc.

Por otro lado, también habrá que rediseñar los mercados de corto y muy corto plazo, para asegurar que todas las tecnologías y todos los agentes puedan participar en la operación eficiente del sistema en un contexto de mayor variabilidad de la producción.

Diseño de tarifas

Finalmente, para que la transición del sistema eléctrico hacia uno completamente descarbonizado sea efectiva, es imprescindible enviar las señales adecuadas a los agentes. El papel de los consumidores y de los recursos distribuidos, de los operadores de las redes de transporte y distribución, así como de los nuevos modelos de negocio, será fundamental para asegurar una

¹¹ El efecto orden de mérito consiste en que, al entrar más energías renovables, de coste variable muy bajo, en el sistema, la curva de demanda se desplaza hacia la derecha, resultando un precio de equilibrio inferior al anterior.

¹² Los mercados de capacidad son mercados en los que se remunera no la provisión de energía, sino la disponibilidad de una capacidad de generación que pueda ser necesaria en momentos de escasez de generación en el sistema. Las opciones de fiabilidad son una forma de instrumentar estos mercados.

transición eficiente. Para ello el diseño de señales económicas que reflejen los costes incurridos y el valor de los servicios prestados es absolutamente central.

En primer lugar, la estructura tarifaria debe permitir la competencia entre la oferta y la demanda, y entre los recursos distribuidos y centralizados, en igualdad de condiciones. Para ello deben eliminarse las tarifas que recuperan costes fijos con términos variables (conocidas como volumétricas), ya que incentivan de forma ineficiente la generación distribuida, además de tener consecuencias distributivas negativas¹³. El término de energía únicamente debe reflejar el coste marginal incurrido, tanto de generación de energía como de redes: es decir, debe reflejar el coste adicional que supone generar una unidad más de energía o construir una unidad más de red.

Por otra parte, los costes fijos del sistema (las redes o el coste de las políticas energéticas) deben establecerse de forma que no distorsionen las decisiones de los agentes, y que se garantice su recuperación. Además, deberían utilizarse criterios de equidad para no perjudicar a los consumidores más vulnerables. Las dos alternativas más interesantes serían financiarlos con cargo a los Presupuestos Generales del Estado o con cargos fijos proporcionales a la renta de los consumidores.

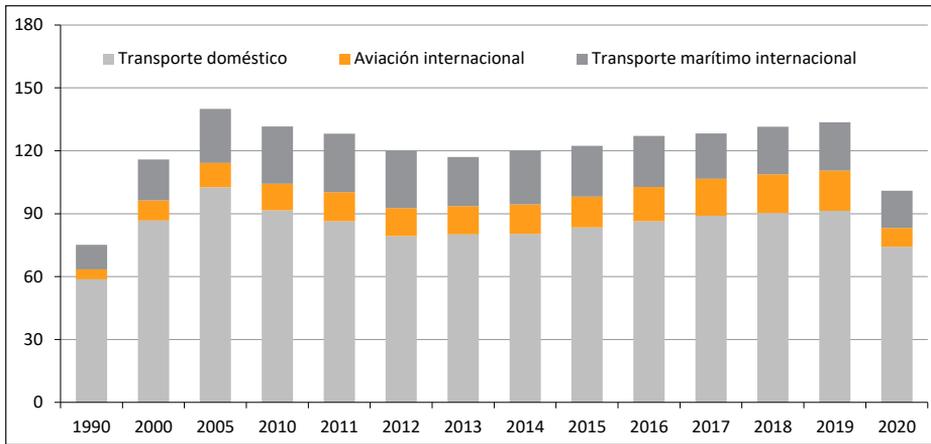
Finalmente, habrá que establecer de forma correcta los impuestos en un contexto de reforma fiscal energética y ambiental. A estos efectos, las recomendaciones del Libro Blanco sobre la Reforma Tributaria publicado en marzo de 2022 son una excelente referencia.

4.2. Transporte

El sector del transporte doméstico representa más del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero de sectores difusos (MITECO, 2022f), alcanzando la cifra 91.371 MtCO₂-eq en 2019. A esta cifra se le suman los sectores de la aviación y el transporte marítimo internacional, los cuales aportaron 19.141 MtCO₂-eq y 23.154 MtCO₂-eq adicionales en 2019 (EEA, 2022), respectivamente (gráfico 20). De entre estos dos últimos, solo el primero está regulado por el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE (European Commission, 2022d), y comprende únicamente los vuelos intraeuropeos (revisable a partir de 2023).

¹³ Por ejemplo, el autoconsumo o la eficiencia energética permiten ahorrar costes en el término de energía (al consumir menos electricidad de la red), pero esto supone que se dejan de pagar también costes fijos, y, por tanto, para recuperarlos, debe incrementarse el término de energía de los que no autoconsumen o no pueden invertir en eficiencia (que suelen ser precisamente los hogares de menor renta).

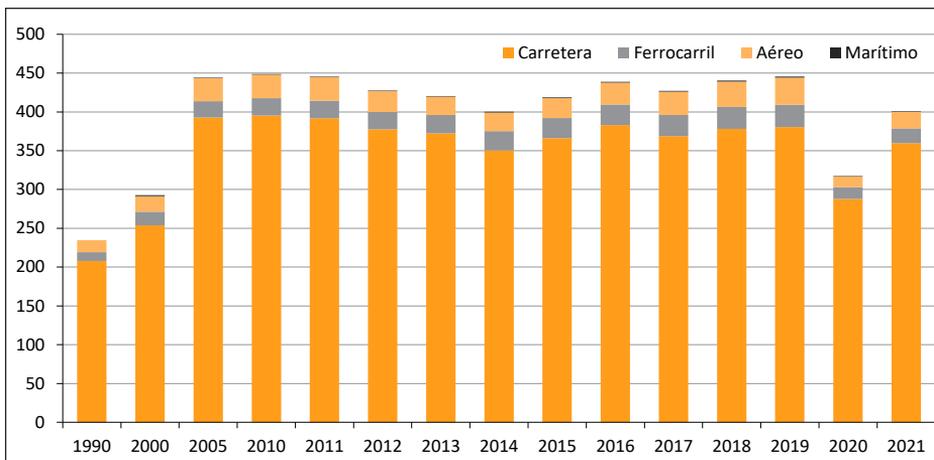
Gráfico 20 – Evolución de las emisiones del transporte en España por tipo de transporte. En millones de toneladas equivalentes de CO₂. 1990-2020



Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones del sector transporte han seguido una tendencia creciente desde la recuperación económica posterior a la crisis de 2008, consecuencia de una demanda cada vez mayor tanto del transporte de pasajeros como de mercancías. Sin embargo, se observa una caída acentuada de la demanda de transporte en el año 2020, seguida por una modesta recuperación en el año 2021 (gráficos 21 y 22). La situación de emergencia sanitaria provocada

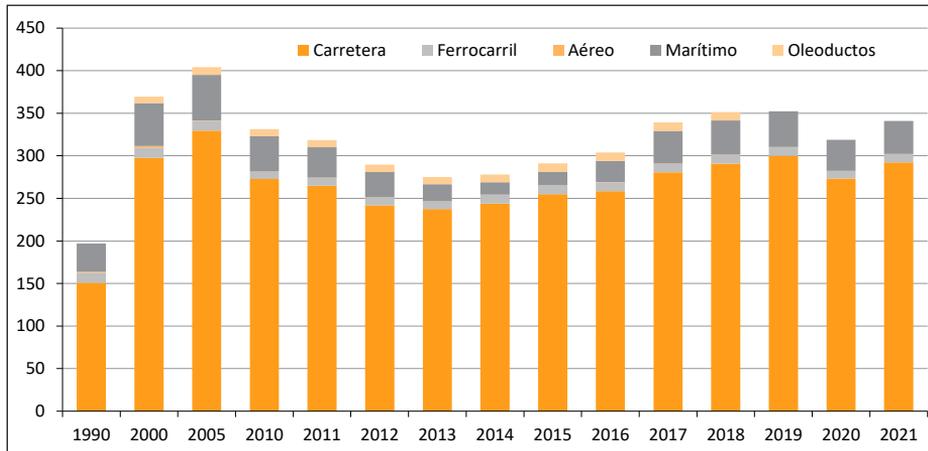
Gráfico 21 – Evolución de la demanda de transporte de pasajeros por tipo de transporte. En millones de pasajeros-kilómetro. 1990-2021



Fuente: Elaboración propia.

por la pandemia de la COVID-19 y las restricciones de movilidad asociadas hicieron caer las emisiones del transporte en 2020 en casi un 20% respecto a 2019¹⁴ (MITECO, 2021a).

Gráfico 22 – Evolución de la demanda de transporte de mercancías por tipo de transporte. En millones de toneladas-kilómetro. 1990-2021

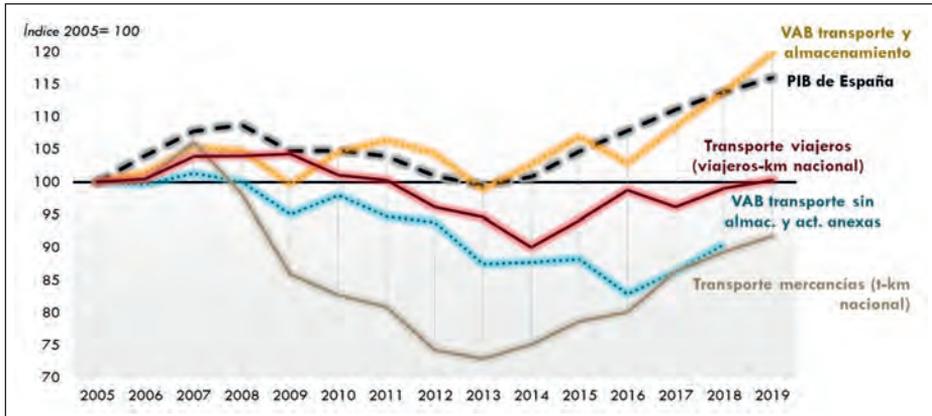


Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico 23, la demanda de transporte de mercancías presenta una mayor elasticidad que el transporte de pasajeros respecto a la evolución de la actividad económica recogida en el PIB. En cambio, aunque el crecimiento económico encadene una mayor demanda, está cada vez menos acoplado. España se encuentra entre los países de la UE-27 que más han reducido la intensidad de transporte de pasajeros respecto a la evolución del PIB entre el año 2000 y la actualidad (gráfico 24). Sin embargo, se encuentra a la cola de la reducción en intensidad para el transporte de mercancías, debido a la dependencia del transporte por carretera para su actividad (véase que el transporte por carretera representa casi el 90% de la demanda en el gráfico 22).

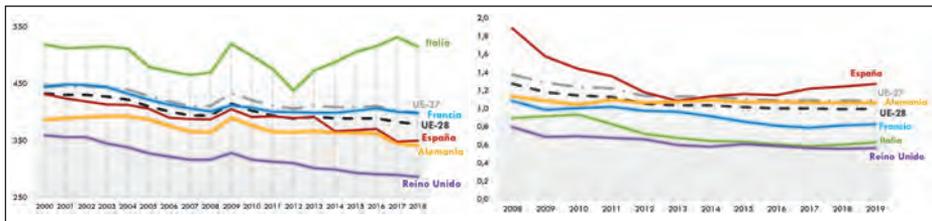
¹⁴ Solo se tienen datos oficiales de las emisiones asociadas al transporte doméstico (MITECO, 2022a), y se han estimado las emisiones de la aviación y transporte marítimo internacional a partir de su participación en el cómputo total de emisiones de años anteriores (8,75% y 17,33% de media, respectivamente).

Gráfico 23 – Evolución del Producto Interior Bruto y movilidad interior de personas y mercancías. 2005-2018



Fuente: OTLE, 2021.

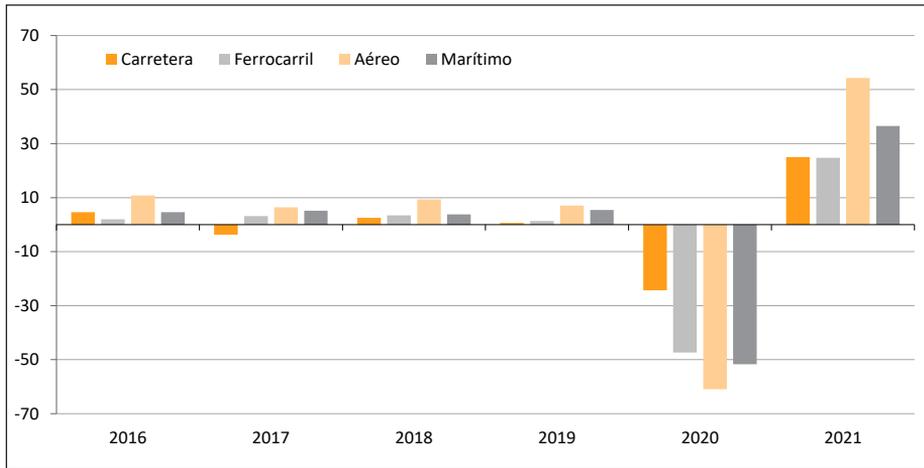
Gráfico 24 – Intensidad del transporte en relación al PIB. Transporte de pasajeros en viajeros-km/1.000 euros constantes del año 2000 y transporte de mercancías en tonelada/1.000 euros constantes del año 2000



Fuente: OTLE, 2021.

Analizando la evolución del reparto modal en los últimos años (gráfico 25), si bien el transporte por carretera es el que ha experimentado un mayor crecimiento en términos absolutos, el transporte aéreo es el modo que más ha crecido en términos relativos en los años precedentes a la pandemia (un 7% entre 2018 y 2019). En 2020 fue el modo con el mayor descenso interanual (-61% entre 2019 y 2020), pero también el modo con la recuperación más acentuada en 2021 (+54% respecto a 2020).

Gráfico 25 – Evolución de la demanda de transporte de pasajero por tipo de transporte. Porcentaje de variación anual. 2016-2021



Fuente: Elaboración propia.

Además de un recorte del 19% de las emisiones de GEI debido a las restricciones de movilidad por la pandemia, se redujeron las emisiones de contaminantes atmosféricos en un 21% para el NO_x y un 21,8% para las partículas PM_{2,5} (MITECO, 2021^a; OTLE, 2021). No obstante, por el carácter no permanente de la reducción de demanda y la recuperación económica actual y futura, el recorte de emisiones que se produjo en 2020 resulta anecdótico en el cómputo de emisiones acumuladas, causantes del cambio climático (GCP, 2022).

Los fondos de recuperación pueden ser una excelente oportunidad para reconstruir el sector del transporte y reducir sus emisiones. A continuación, se presentan los diferentes mecanismos de descarbonización y las políticas necesarias para implementarlos serán discutidas en el apartado 6.

Planes para descarbonizar el sector transporte

Después del Acuerdo de París de 2015 (CMNUCC, 2016), cada una de las partes ha comunicado sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), entre las cuales el transporte se considera relevante en un 81% de los casos. En cambio, solo el 60% de los 193 países firmantes ha proporcionado medidas de descarbonización para el transporte en sus NDC, y no más del 10% ha establecido objetivos concretos de reducción de emisiones. Entre ellos se encuentran los miembros de la Unión Europea, y podemos resumir los objetivos y mecanismos de descarbonización de aplicación para España.

Los hitos de reducción de emisiones para España se han propuesto en dos paquetes de medidas a medio y largo plazo ya presentados anteriormente:

- El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, 2020), publicado en 2020 y en vigor para los años 2021-2030, establece una reducción de emisiones en el sector transporte de 27 MtCO₂-eq (un 33% respecto a los niveles de 2017, 87 MtCO₂-eq).

- La Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 (MITECO, 2020b), fijando el objetivo de emisiones del transporte en 2050 en 2 MtCO₂-eq (una reducción del 98% respecto a 2017).

Para alcanzar dichos niveles de reducción, estos planes nacionales se unen a los planes internacionales de la Unión Europea¹⁵, en los que se resaltan los siguientes mecanismos:

- Adopción de combustibles bajos en emisiones para los vehículos: biocombustibles de segunda generación, electricidad, hidrógeno y combustibles sintéticos.

- Refuerzo de los estándares de emisiones de los vehículos nuevos: actualmente en vigor, el Reglamento (UE) 2019/631 (2019) establece el máximo de emisiones para los vehículos nuevos (de media) en 95 g/km para los coches y 147 g/km para las furgonetas¹⁶. Gracias a este estándar, las emisiones medias del parque nuevo registrado han caído un 12% (European Commission, 2021).

- Mejora en la operación de los sistemas de transporte, a través de tecnologías conectadas y una mayor automatización. La Estrategia Europea para una Movilidad Baja en Emisiones (European Commission, 2016) publicada en 2016 insiste en la necesidad de establecer marcos comunes como el Cielo Único Europeo (White Paper on Transport, 2011) o la alineación con el compromiso establecido por la IMO de reducir las emisiones del transporte marítimo en 2050 (International Maritime Organization, 2018).

- Acelerar la penetración de los vehículos de cero emisiones: eléctricos de batería, vehículos de hidrógeno propulsados por pila de combustible y los vehículos de propulsión humana como la bicicleta. El PNIEC estima un parque de 5 millones de vehículos eléctricos en 2030, repartidos entre coches y furgonetas. Esta adopción acelerada se intensificaría según el plan por las restricciones impuestas a los vehículos de combustión en el ámbito urbano –Zonas de Bajas Emisiones– (MITECO y Ecologistas en Acción, 2019) y un menor coste de los vehículos para el consumidor.

¹⁵ European Strategy for Low Emissions Mobility (European Commission, 2016), The European Green Deal (Communication (UE), 2019).

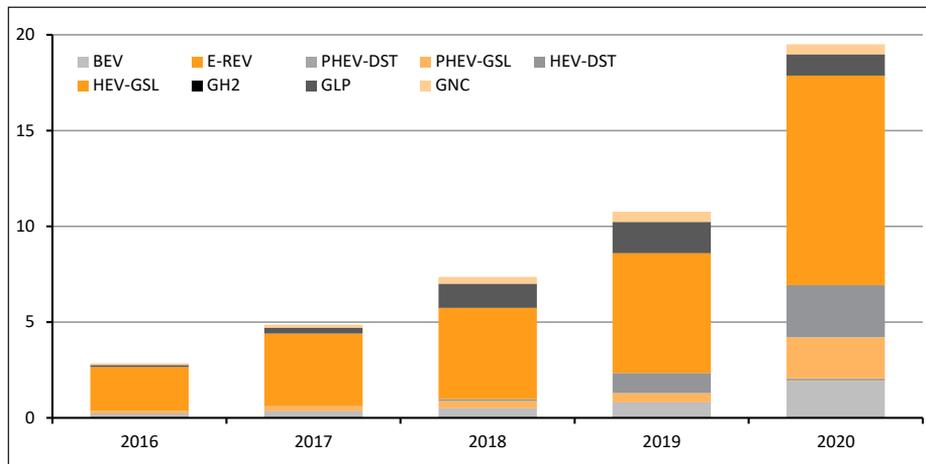
¹⁶ Referidos al ciclo NEDC.

- Fomentar el cambio modal hacia modos menos contaminantes. Para el caso del transporte de pasajeros, nos referimos a los transportes públicos y a los modos activos. En el caso del transporte de mercancías, se consideran el transporte ferroviario electrificado y el transporte marítimo como alternativas al transporte por carretera. El PNIEC estima en hasta un 35% el cambio modal de pasajeros fomentado por las restricciones a los vehículos convencionales y el refuerzo de la infraestructura de transporte público.

Seguimiento de los objetivos y mecanismos para la descarbonización del transporte

En cuanto a la adopción de vehículos de cero emisiones y combustibles de bajas emisiones, en España se matricula cada año una mayor cuota de vehículos propulsados por electricidad y otros combustibles alternativos. El gráfico 26 muestra como los vehículos propulsados por combustibles alternativos fósiles (GLP y GNC¹⁷) no superan el 2% de las matriculaciones totales, mientras los vehículos electrificados llegan al 10% en 2019 y al 20% en 2020.

Gráfico 26 – Evolución de la matriculación de turismos y todoterrenos propulsados por combustibles alternativos. En porcentaje del total de vehículos matriculados. 2016-2020



BEV: Vehículos eléctricos de batería, E-REV: Vehículos eléctricos de autonomía extendida, PHEV: Vehículos híbridos enchufables, HEV: Vehículos híbridos eléctricos, GH2: Vehículo de hidrógeno.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ANFAC, 2020.

¹⁷ Gas Licuado del Petróleo (GLP) y Gas Natural Comprimido (GNC).

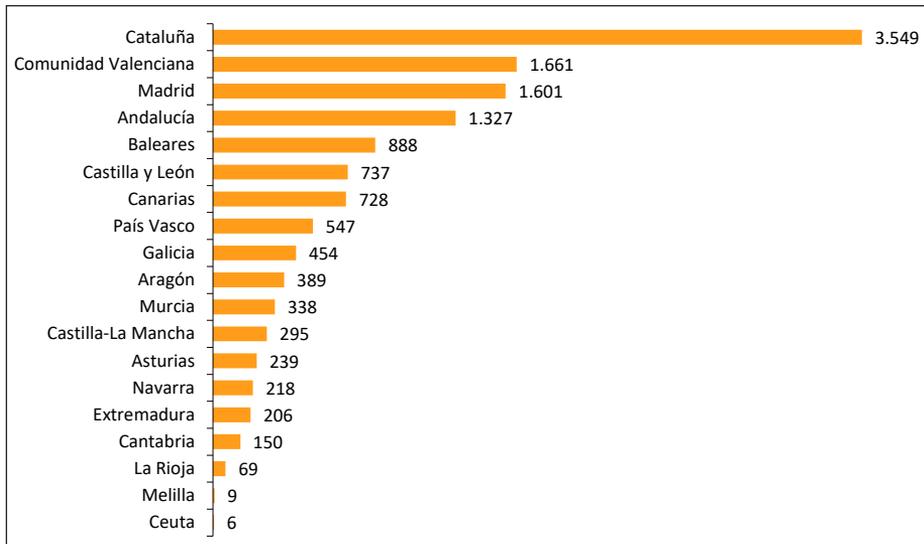
No obstante, los tipos de vehículo con mayores tasas de crecimiento entre el parque nuevo son los vehículos híbridos no enchufables de gasolina (HEV-Gasolina) y los enchufables de gasolina (PHEV-Gasolina), mientras los eléctricos puros de batería (BEV) no representan más del 2,2% ningún año.

Este predominio de los vehículos híbridos podría de alguna manera lastrar la reducción de emisiones asociadas a la acelerada penetración de vehículos electrificados. Por una parte, los vehículos híbridos presentan una reducción de emisiones moderada comparados con los vehículos de combustión tradicionales (International Combustion Engine, ICE). Los híbridos no enchufables suponen una mejora de eficiencia de hasta un 20% comparados con los vehículos de combustión, y los enchufables en Europa hasta un 27% (Bieker, 2021). Un reciente estudio del International Council for Clean Transportation (ICCT) recoge las observaciones obtenidas de la conducción de vehículos híbridos enchufables en Europa (ICCT, 2020). Los ciclos sobre los que se evalúan las emisiones de los vehículos suponen que los conductores utilizarían la batería para el 69% de sus kilómetros recorridos, mientras que la experiencia demuestra que este factor de utilización no supera el 37%. Como resultado, se están subestimando las emisiones de los vehículos nuevos y superan los estándares de emisiones.

Además de la tendencia hacia vehículos parcialmente electrificados, los vehículos más grandes se han hecho con el protagonismo de las ventas de coches nuevos en España. Los conocidos como SUV (*Sport Utility Vehicle*) o todocaminos han sido el sector más vendido en 2019 y 2020, con una cuota de mercado del 51% en 2020 (ANFAC, 2020). Los SUV, aunque ya han conseguido una tasa de electrificación (parcial) parecida a los segmentos más pequeños (IEA, 2022), consumen alrededor de un 20% más que un vehículo mediano. Si el parque de SUV a nivel mundial fuera un país, estaría en el sexto puesto de países con más emisiones, con más de 900 MtCO₂-eq al año. Es por ello por lo que algunos países como Francia o Alemania han empezado a aumentar los impuestos de matriculación a los vehículos más pesados, y el Libro Blanco sobre la Reforma Tributaria propone algo similar.

En España, la proporción de estaciones de recarga por millón de habitantes (255) sigue situándose a la cola de Europa, lo cual se presenta como un impedimento para la compra de vehículos electrificados (ANFAC, 2020). De acuerdo con la Ley de Cambio Climático (MITECO, 2021b), a partir de febrero de 2023, las gasolineras con ventas agregadas superiores a 10 millones de litros anuales estarán obligadas a instalar al menos una infraestructura de recarga eléctrica rápida (150 kW, corriente continua). Esta medida sumará al menos 1.000 puntos de recarga (gráfico 27) en el próximo año (MITECO, 2022d).

Gráfico 27 – Distribución de los puntos de recarga públicos por comunidad autónoma. Cuarto trimestre de 2021



Fuente: ANFAC.

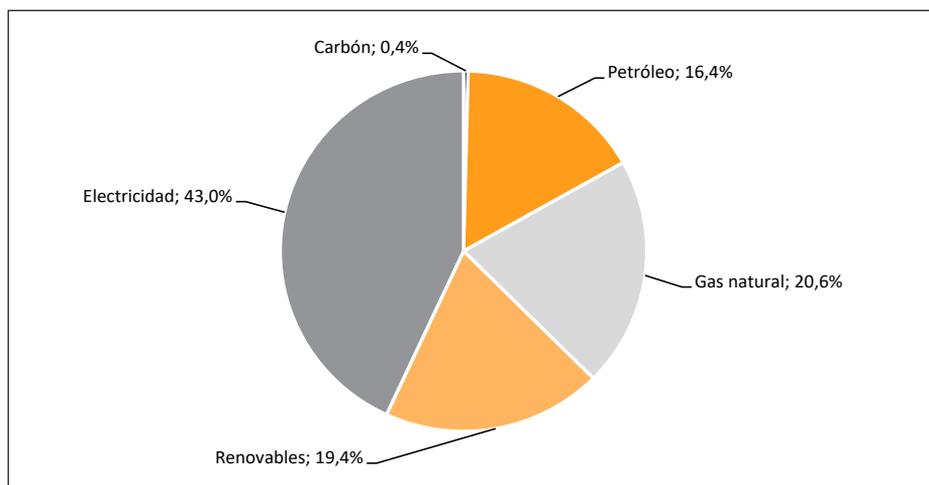
Si bien nuevos modos y modelos de negocios en el transporte urbano están desplazando parte de los pasajeros de sus vehículos privados, el cambio modal que observamos actualmente no está totalmente alineado con los objetivos de reducción de emisiones. En el ámbito urbano, las nuevas formas de movilidad (movilidad compartida y VTC) absorben una parte de los viajes que se hacían en vehículos privados, pero también una parte de los viajeros del transporte público. En el transporte interurbano, el crecimiento del sector aéreo también dificulta el cambio hacia modos más sostenibles como el ferrocarril. Para aliviar y revertir este cambio, Francia avanza para prohibir los vuelos domésticos que cubran trayectos que el ferrocarril sirve en menos de 2h30 (Reuters, 2021), con lo que pretenden reducir las emisiones del sector aéreo en un 40% en 2030. También puede contribuir a la mayor competitividad del ferrocarril el establecimiento de peajes por uso de las carreteras, mayores si hay alternativa ferroviaria.

4.3. Edificios

Nos vamos a centrar en este apartado en analizar el sector residencial. Para ello, nada mejor que partir de la situación actual. En el gráfico 28 se presenta cómo se distribuye el consumo energético en el sector residencial en España en 2019 según las diferentes fuentes. Se observa que la principal fuente energética que se consume en los hogares españoles es la electricidad, seguida por el gas natural, fuentes renovables (biomasa principalmente) y derivados de petróleo. El carbón, como se puede apreciar, está prácticamente excluido ya del mix. El reto por tanto de descarbonización se focaliza en la sustitución de ese 37,4% de consumo final que proviene de fuentes fósiles. Pero para entender bien los retos de este proceso conviene entender en qué usos se consumen esos hidrocarburos.

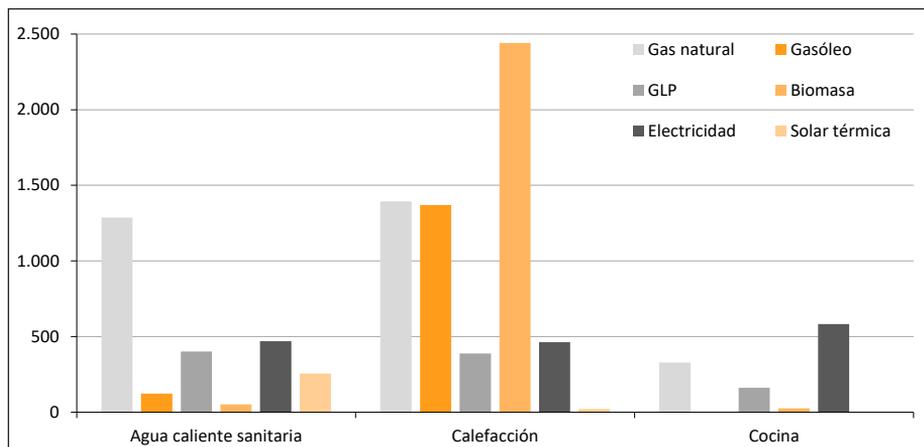
Los usos principales que demandan un consumo de energía en los hogares son: calefacción, agua caliente sanitaria (ACS), cocina, refrigeración, electrodomésticos e iluminación. Hace tiempo que dejamos de usar lámparas de aceite en nuestras casas, por lo que el uso de fuentes fósiles se circunscribe a los tres primeros usos, a saber, calefacción, ACS y cocina. El gráfico 29 muestra cómo se distribuye el consumo energético en estos tres usos por fuentes. Las tres primeras columnas de cada uso muestran el consumo de gas natural, gasóleo y gas licuado de petróleo (GLP), respectivamente. El resto de consumos corresponden a fuentes renovables y electricidad.

Gráfico 28 – Consumo energético de los hogares españoles según fuente. En porcentaje. 2019



Fuente: IDAE.

Gráfico 29 – Consumo de calefacción, agua caliente sanitaria y cocina según fuente de energía. 2019



Fuente: IDAE.

Se aprecia claramente que el principal reto se encuentra en los dos primeros usos. Por un lado, el peso de los derivados de petróleo en calefacción (gasóleo principalmente y, en menor medida, GLP) es muy significativo. Buscar alternativas a estas calderas ha de ser el primer paso en la descarbonización del sector. Después, vemos que el gas natural tiene un hueco muy relevante tanto en calefacción como en ACS, dos usos que suelen venir acoplados mediante calderas individuales o colectivas. Ahí se encuentra el segundo reto en la descarbonización del sector residencial: sustituir en el medio a largo plazo esas calderas por otras tecnologías no fósiles, principalmente bombas de calor, y promover en el corto la sustitución de las calderas más ineficientes por calderas de condensación, de mayor rendimiento que las convencionales.

Resumiendo todo lo anterior: una de las vías para la descarbonización de la demanda en el sector residencial es la sustitución paulatina de tecnologías basadas en combustibles fósiles para satisfacer los usos de calefacción y ACS (principalmente calderas) por otras no contaminantes: eléctricas y renovables de uso final, como solar fotovoltaica distribuida, solar térmica, biomasa, etc.

Pero nos queda por analizar el otro gran vector de descarbonización en el sector: el ahorro, y este vendrá principalmente por el lado de la mejora en la eficiencia energética de nuestros hogares. En este sentido, contamos con una guía clara en la Directiva 2018/844 de eficiencia energética, transpuesta parcialmente en el Real Decreto 390/2021 referente a la certificación energética de los edificios. Fruto también de esta Directiva es la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en

España (ERESEE) presentada en 2020 como actualización de las de 2017 y 2014. Se trata de un documento muy completo en el que se presentan varias medidas destinadas al ahorro energético en edificios.

La primera de estas medidas es el fomento de la racionalización del uso y la mejora en la gestión. Esto pasa necesariamente por promover una mayor cultura de ahorro y eficiencia en los hogares españoles. La segunda medida que sugiere la ERESEE es la reducción de la demanda mediante actuaciones en la envolvente del edificio con cuatro ámbitos de actuación: cerramientos verticales (muros que separan el interior del exterior del edificio, que puede ser mediante aislamiento por el interior de la vivienda o por el exterior), carpinterías exteriores, cubierta y soleras. Lo que se busca con todo ello es disponer de unos cerramientos con el máximo nivel posible de aislamiento y estanqueidad. Finalmente, la tercera medida tiene que ver con el control de la ventilación, especialmente en las zonas climáticas más frías (E y D), mediante un sistema mecánico, algo de obligado cumplimiento por el CTE para obra nueva, pero que no es obligatorio en actuaciones de rehabilitación.

Tenemos, pues, ya planteados los dos principales vectores de la descarbonización del sector residencial: sustitución de tecnologías fósiles en los usos de calefacción y ACS por alternativas electrificadas o renovables y actuaciones de ahorro que conlleven mejoras en el aislamiento térmico de nuestros edificios, todo ello acompañado, como mencionábamos anteriormente, de una mejora en el comportamiento y la gestión de nuestros edificios, en lo que la digitalización tiene un papel muy importante que jugar.

Estos vectores quedan a nuestro juicio bien reflejados y desagregados en la infografía del gráfico 30, cuya versión original se encuentra en la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050. Se aprecia que hay dos etapas diferenciadas. Por un lado, hasta 2030, en que, siguiendo la senda que marca el PNIEC, el foco se pondrá en la rehabilitación y la renovación de instalaciones térmicas. A partir de ahí, para el periodo de 2030 a 2050, la descarbonización vendrá principalmente de la mano del desarrollo de nuevas tecnologías y de la gestión inteligente.

Terminamos esta sección enumerando los principales retos y oportunidades que encontramos en la descarbonización del sector residencial. Lo haremos siguiendo principalmente las ideas que presenta la Estrategia 2050.

Retos:

- Es imprescindible movilizar a los titulares de los edificios (particulares y comunidades) para que se abran a actuaciones de mejora de la eficiencia en las viviendas. Solo así se alcanzarán los objetivos de ahorro esperados.
- A nivel estatal, para la gestión de ayudas directas y otros incentivos para la rehabilitación, será necesario coordinar a todos los niveles de la Administración, desde los europeos a los locales, pasando por el estatal y el regional.
- Si bien la electrificación de la demanda de energía final en el ámbito residencial es el vector más importante para la descarbonización (se estima que en 2050 el 80% de la demanda estará electrificada), existe un porcentaje que habrá de ser cubierto por energías renovables de uso final que, a día de hoy, están todavía lejos de su rentabilidad. Nos encontramos, pues, ante un urgente y apasionante reto de innovación, investigación, desarrollo e implantación tecnológica en las próximas décadas.

Oportunidades:

- Nos encontramos ante una ocasión privilegiada para potenciar un nuevo empleo en el sector de la construcción vinculado a la rehabilitación de viviendas. Tradicionalmente, el empleo en el sector se ha focalizado en la obra nueva. Ahora se abre una nueva perspectiva de especialización con un gran potencial de creación de empleo.
- Hay mucho margen de mejora en los hábitos de consumo en los hogares, fruto principalmente de la falta de información. Gracias a la mejora en la digitalización de los sistemas, esta información podrá fluir de manera mucho más sencilla hacia los hogares facilitando los cambios a hábitos más eficientes.
- Las rehabilitaciones y cambios tecnológicos en los usos finales de energía en el hogar no solo traerán una reducción de la demanda y de las emisiones, sino también una considerable mejora en el confort.
- La necesidad de potenciar el rol de la biomasa como fuente energética renovable final presenta sinergias con una mejora de la gestión forestal, así como efectos socioeconómicos positivos como la fijación de población.

4.4. Sector industrial

El sector industrial es uno de los grandes olvidados en el discurso público de la descarbonización, e incluso en algunos de los documentos públicos que establecen la estrategia española de descarbonización a medio y largo plazo. Así, el PNIEC apenas menciona las reducciones de emisiones en la industria, que solo supondrían un 7% de la reducción de emisiones totales a 2030, la mayor parte de ello gracias a mejoras en la eficiencia energética. En términos de reducción intrasectorial, esto equivale a un 14%. Y ello a pesar de que la industria supone aproximadamente un 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero en España en la actualidad.

La razón fundamental de esta aparente ausencia es la dificultad de reducir las emisiones en la industria, como veremos posteriormente. Esto hace que, al menos a 2030, se le haya dado menor prioridad con respecto a otros sectores como el eléctrico o el del transporte. Así, en la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 la industria sí cuenta con un papel más significativo, aunque de nuevo siendo uno de los dos sectores que sigue emitiendo en un contexto de neutralidad climática.

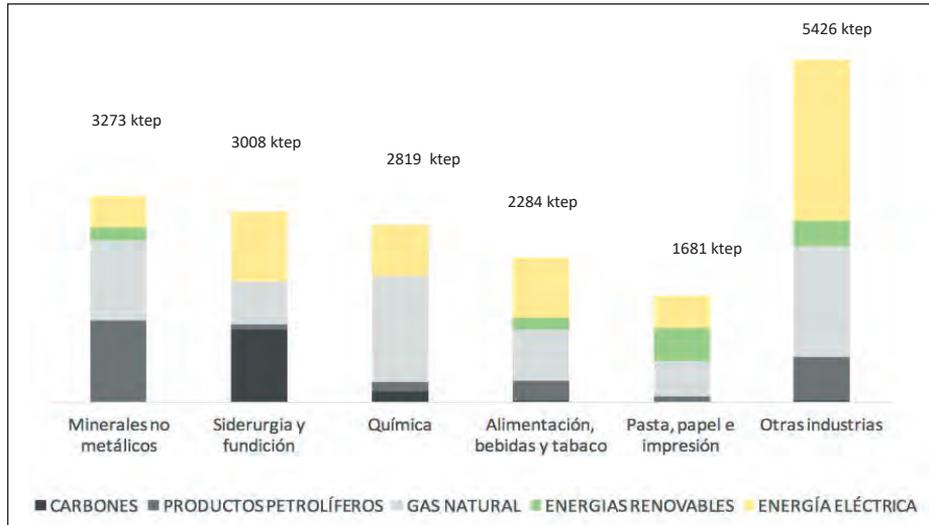
Sin embargo, en nuestra opinión, no conviene dejar para más adelante la descarbonización del sector industrial. Precisamente la gran dificultad de reducir sus emisiones hace imprescindible comenzar a actuar desde ya, tanto en tratar de obtener soluciones tecnológicas para reducir las emisiones como en dar las señales apropiadas. Los ciclos inversores en la industria son muy largos, por la larga vida de las instalaciones, y esto hace que, si se difieren las decisiones en este ámbito, podamos encontrarnos con nuevas inversiones no compatibles con los escenarios de reducción deseados, o con deslocalización industrial si no hay soluciones tecnológicas.

El punto de partida para entender bien los retos y las oportunidades que supone la descarbonización para la industria española es el análisis de la situación actual. Como ya hemos mencionado, la industria supone un 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero en España y un 24% del consumo de energía. La producción de acero, la petroquímica, el cemento, la cerámica, el vidrio, el papel y la alimentación son los sectores con la intensidad de CO₂ más alta. En el gráfico 31 se muestra el consumo de distintos combustibles por los sectores más intensivos en energía.

De cara a lograr los objetivos de descarbonización industrial previstos a largo plazo, el primer paso debería ser entender bien cuáles pueden ser los consumos de materias primas intensivas en energía en el medio y largo plazo. Los niveles de consumo previstos para España en el horizonte 2050 (Gerres *et al.*, 2019) muestran en general aumentos significativos para el cemento, el acero o el aluminio, y niveles estables para el papel y el plástico. En ningún caso se observan reducciones significativas en los escenarios tendenciales,

lo cual evidentemente pone más presión en las dos grandes alternativas: la implantación de una economía circular que reduzca el consumo de materias primas y el cambio tecnológico.

Gráfico 31 – Consumo de energía de la industria en España por sectores industriales. En ktep



Fuente: MITECO, 2020b

La opción más interesante es la implantación de una verdadera economía circular, que reduzca, reutilice y recicle. Según algunos estudios, el potencial de reutilización de las materias primas más intensivas en energía podría situarse entre el 50% y el 75% (Material Economics, 2018). Sin embargo, seguirá siendo necesario producir materiales básicos para satisfacer las necesidades de la economía. Por tanto, no basta con la economía circular, sino que hay que recurrir también al cambio tecnológico. A este respecto, es importante recordar que en algunos procesos industriales, como la fabricación de cemento, acero o fertilizantes, existen emisiones de CO₂ llamadas “de proceso”, es decir, no asociadas a la utilización de energía sino a las reacciones químicas que tienen lugar. Por lo tanto, el cambio de vectores tecnológicos (como el uso de energías renovables o hidrógeno verde) no modifica las emisiones de proceso.

El cuadro 1 muestra las principales opciones tecnológicas para reducir emisiones, de acuerdo con el análisis de la literatura realizado en Gerres *et al.* (2019). Como puede observarse, hay algunas soluciones específicas para cada sector y otras transversales.

Cuadro 1 – Áreas de opciones de reducción de emisiones más mencionadas en la literatura analizada

	Siderurgia	Petroquímica	Cemento	Papel y pasta	Cerámica	Vidrio	Alimentación	
Menos mencionado	1	Hornos	Procesos catalíticos	Materia prima alternativa	Hornos	Hornos	Hornos	Provisión tratamiento por calentamiento
	2	Electrólisis	Recuperación de calor	Residuos de base biológica y biomasa	Recuperación de calor	Recuperación de calor	Recuperación de calor	Hornos
	3	Reciclaje de gases de combustión	Separación con membrana	CCUS	CCUS	CHP	Pre calentador	CHP
	4	CCUS	CHP	Hornos	Residuos de base biológica y biomasa	Residuos de base biológica y biomasa	Oxcombustión	Residuos de base biológica y biomasa
	5	Recuperación de calor	CCUS	Recuperación de calor	Provisión tratamiento por calentamiento	Materia prima alternativa	Materiales primarios reciclados	Separación con membrana

- Las áreas de reducción de las emisiones de color naranja están relacionadas con el suministro de energía en forma de calor.
- El color verde indica materias primas alternativas o combustibles alternativos.
- Las tecnologías resaltadas en azul son una colección de procesos de separación electroquímicos y mecánicos principalmente aplicados a medios líquidos.
- La captura, almacenamiento y utilización del carbono (CCUS) se señala en gris.

Fuente: Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas, 2019.

Las actuaciones que presentan un mejor potencial para descarbonizar la industria serían, por tanto, las siguientes:

- Reducción de la intensidad energética (mejora de la eficiencia). Las vías fundamentales son, además de la instalación de equipos más eficientes, la recuperación de calor y la cogeneración (esta última siempre que esté basada en fuentes renovables y suponga una ganancia de eficiencia, lo que no siempre está garantizado). La recuperación de calor puede reducir hasta un 15% de las emisiones, según los sectores.

- Descarbonización de vectores energéticos, que comprende la electrificación (basada en fuentes renovables), el uso de biomasa o biogás o la utilización de hidrógeno renovable. La electrificación es la principal alternativa para aquellos procesos que requieren temperaturas inferiores a los 200 °C (como la industria alimentaria o la de la pasta y el papel). Para procesos con temperaturas superiores debería recurrirse a la biomasa, al biogás o al hidrógeno (u otros gases renovables). El hidrógeno, además, también puede ser una opción para reducir las emisiones de proceso en el caso del acero.

- Cambio de procesos tecnológicos, como la sustitución de procesos de separación térmicos por mecánicos (membranas), que ahorran hasta un 90% de energía; o la destilación por membrana, que puede ahorrar hasta un 30%.

- Captura, almacenamiento y utilización de carbono (CCUS). Esta tecnología parece tener una viabilidad clara en la industria del cemento, la cal, los fertilizantes y la pasta y papel. En los tres primeros casos, el CCUS puede de hecho ser la única opción para eliminar las emisiones de proceso. En cualquier caso, la viabilidad real de la tecnología dependerá de la capacidad de almacenamiento a muy largo plazo o de su incorporación a materiales perdurables y de la aceptabilidad pública¹⁸.

La introducción de la circularidad en la industria y el cambio tecnológico descrito presenta importantes oportunidades: la principal es la creación de un tejido industrial competitivo, que pueda participar a nivel global en la producción de materiales neutros en carbono y con un elevado grado de circularidad. Esto a su vez permitiría mantener, o incluso aumentar, el empleo industrial en España. Pero para lograrlo es preciso responder a una serie de retos complejos.

En primer lugar, el desarrollo de las tecnologías comentadas anteriormente, idealmente además en forma de equipos estandarizados que puedan utilizarse en distintos sectores. Como ya se ha mencionado, hacen falta innovaciones en todos los sectores intensivos en el uso de energía, más allá del uso de vectores descarbonizados. Y será necesario también demostrar la viabilidad comercial de estas nuevas tecnologías mediante proyectos piloto con escala industrial.

En segundo lugar, habrá que acompañar estos desarrollos con los ciclos de inversión de la industria. La sustitución de las tecnologías actuales por otras bajas en carbono dependerá de la vida útil restante de los equipos instalados y de los diferenciales de coste, que se prevén elevados al menos durante un tiempo. Y, como se mencionó al comienzo, la inversión actual puede durar 40-50 años y, por tanto, condicionar las emisiones en el futuro.

En tercer lugar, algunas opciones tecnológicas, como el uso de CCUS o de hidrógeno, requerirán el desarrollo de infraestructuras de transporte y almacenamiento, sin que esté claro aún si deberán construirse a nivel local o regional.

Finalmente, todos estos retos deberán responderse con una perspectiva de competitividad global de los sectores industriales que se consideren estratégicos, y sin olvidar el acompañamiento de ciertos sectores que se abandonarán a lo largo de la transición para minimizar los efectos negativos sobre el empleo.

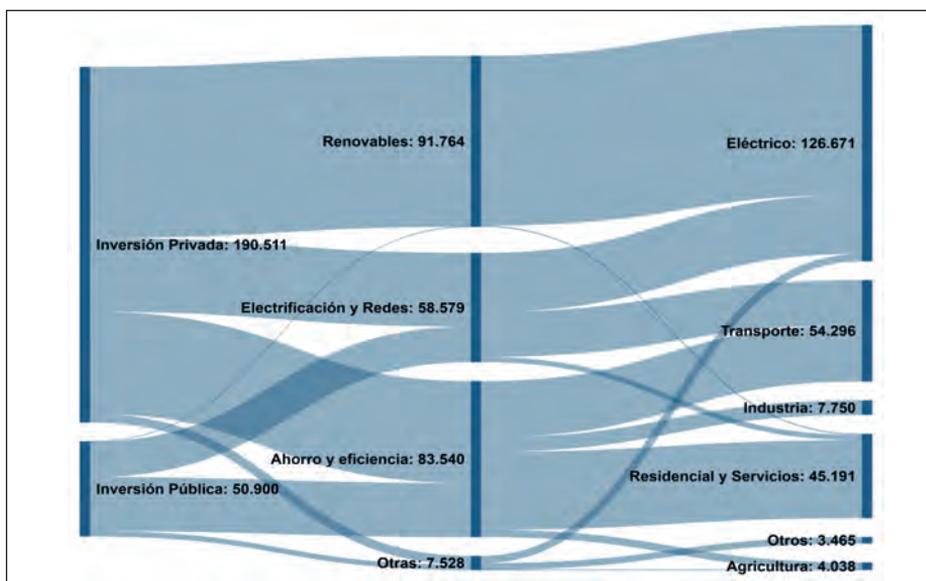
¹⁸ Es conveniente señalar que los combustibles sintéticos, obtenidos a partir del carbono capturado, no se consideran neutros en emisiones, ni una tecnología válida para secuestrar el carbono a largo plazo.

5. Impactos macroeconómicos

La descarbonización del sistema energético español es posiblemente una de las mayores oportunidades para transformar la economía española hacia una más verde, más eficiente y más innovadora. El análisis realizado por el BC3 en el marco del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (MI-TECO, 2020c) es muy positivo: la descarbonización permitiría movilizar un enorme volumen de inversión, unos 240.000 millones de euros, la mayoría de ella (un 80%) de fuentes privadas, tal como muestra el gráfico 32. De estas inversiones totales, el BC3 estima que 196.000 millones de euros serán debidas al plan de descarbonización y, por tanto, son las que se utilizan para estimar el impacto macroeconómico de dicho plan.

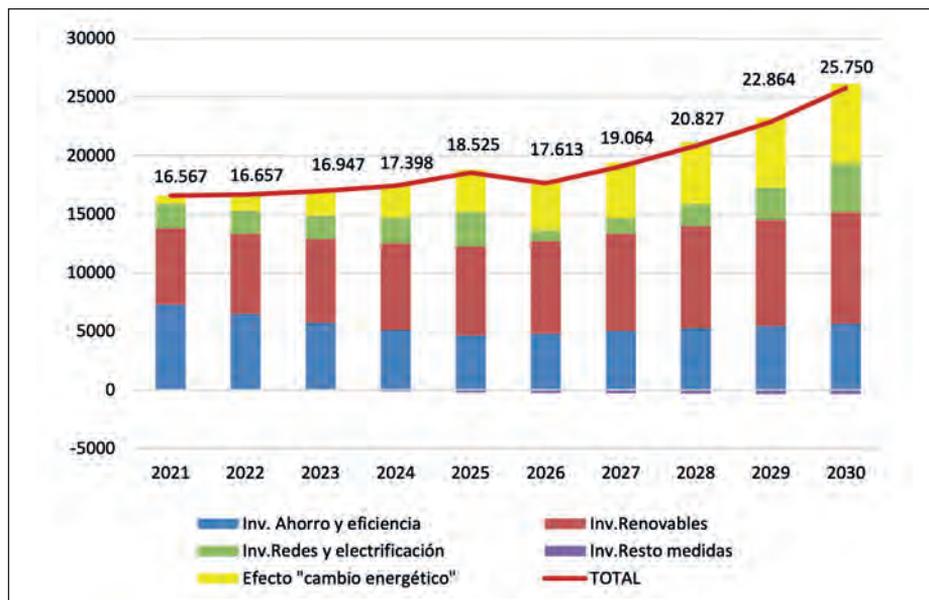
El impacto macroeconómico de la descarbonización se debe a dos elementos: en primer lugar, la inversión adicional asociada y, en segundo lugar, el cambio en el gasto energético, que se reduce gracias al ahorro y la eficiencia, y que sustituye combustibles fósiles importados por energías renovables cuyo valor añadido se queda parcialmente en el país. Estos dos efectos darían lugar a un aumento del PIB de entre 16.500 y 25.700 millones de euros al año (un 1,8% del PIB en 2030). Tal como muestra el gráfico 33, la mayor contribución a este valor añadido adicional vendría de la inversión en renovables, seguida por el ahorro y la eficiencia energética y por el ahorro en combustibles fósiles.

Gráfico 32 – Flujo de inversiones totales del PNIEC. En millones de €



Fuente: Basque Centre for Climate Change, 2019.

Gráfico 33 – Evolución del impacto en el PIB de las medidas incluidas en el PNIEC. 2021-2030. En millones de €



Fuente: Basque Centre for Climate Change, 2019.

A su vez, este aumento del valor añadido podría traducirse en una creación de empleo muy significativa, de entre 253.000 y 348.000 empleos por año. Esto supondría un 1,7% de aumento con respecto al empleo tendencial en 2030 y una reducción de la tasa de paro de entre un 1,1% y un 1,6%. En esta estimación se incluye el impacto negativo en el empleo del abandono del carbón y la energía nuclear. El mayor número de empleos se crearía en los sectores de comercio y reparación, seguido por la industria manufacturera y la construcción.

Por último, la mayor actividad económica también resultaría en un incremento de la recaudación fiscal del Estado, que compensaría ampliamente el gasto público asociado al PNIEC.

Además, el impulso económico generado podría tener un carácter progresivo, es decir, que beneficiaría más a los hogares de menor renta, y especialmente a los colectivos vulnerables (aunque esto es en términos agregados y pueden aparecer segmentos de hogares o empresas más perjudicados; la sección 6 ofrece más detalles sobre esta cuestión). Y también tendría co-beneficios, entendidos como tales los asociados a la reducción de los daños sobre la salud causados por la contaminación atmosférica. Al utilizar menos combustibles fósiles, las emisiones de partículas, SO₂ y NO_x se reducirían en un tercio aproximadamente.

Es importante señalar que estas estimaciones, como se ha mencionado antes, se realizan como diferencia entre el escenario de descarbonización y el escenario tendencial. Si el escenario tendencial es optimista, el efecto adicional de la descarbonización se ve reducido. Y a este respecto es muy relevante señalar que el escenario tendencial es un escenario pre-COVID. Por lo tanto, el impulso a la descarbonización podría tener un efecto aún mayor que el estimado en un contexto de recuperación pospandemia. Por otra parte, la crisis ha empeorado las cuentas públicas, por lo que cabría cuestionarse si las Administraciones Públicas contarían con los recursos económicos necesarios para movilizar la inversión privada.

En este ámbito, la disponibilidad de los fondos Next Generation EU, desplegados por la Unión Europea para hacer frente a la crisis inducida por la COVID-19, permite contar con los recursos suficientes para emprender esta transformación, siempre que se utilicen de forma apropiada.

Ahora bien, todas estas previsiones se sostienen en dos importantes preguntas: la primera, si habrá fondos privados suficientes para realizar las inversiones necesarias; y la segunda, si seremos capaces de retener el valor añadido generado.

La respuesta a la primera pregunta ha ido evolucionando muy rápidamente en los últimos meses. Al comienzo de la crisis existía un importante volumen de capital privado disponible con tipos de interés muy bajos. Sin embargo, la recuperación pos-COVID ha traído consigo un repunte de la inflación y la amenaza de subidas en los tipos de interés, que podrían detraer la inversión privada. Por otra parte, los fondos Next Generation EU antes citados suponen un aumento de la inversión pública, que podría compensar la eventual reducción de fondos privados.

En cuanto a si seremos capaces de retener el valor añadido generado, la clave estará en la estrategia de inversión y en las políticas que acompañen a la descarbonización. En un extremo, si las inversiones se utilizan para financiar proyectos que no contribuyan a construir una cadena de valor estable y amplia en el país (por poner un ejemplo sencillo, la construcción de parques fotovoltaicos con paneles y equipos importados) o si los fondos públicos se utilizan para dar ayudas coyunturales, difícilmente será posible lograr aumentos del PIB como los estimados por BC3, y menos aún se logrará transformar la economía española en la dirección deseada. En este sentido, tal y como se ha solicitado desde la Comisión Europea por ejemplo para la redacción de los Planes Nacionales de Recuperación y Resiliencia (el paso previo para la liberación de los fondos Next Generation EU), el programa de inversiones para la descarbonización debería ir acompañado de un importante paquete de reformas y de inversiones en capacidades tecnológicas, formativas y de innovación, de forma que sea posible construir cadenas de valor competitivas en nuestro territorio y con ello retener la mayor cantidad

posible del valor añadido asociado a la descarbonización. En la sección 7 se describirán algunas de las reformas necesarias para lograrlo.

Finalmente, no pueden obviarse las posibles consecuencias negativas para el cuadro macroeconómico, señaladas por Pisani-Ferry recientemente (2021): el gran volumen de inversión puede afectar a los tipos de interés, puede haber reducciones transitorias en el bienestar de los agentes, cambios en la distribución de las rentas y activos varados¹⁹. Estos elementos son generalmente conocidos como “riesgos de la transición” y pueden tener un impacto significativo sobre el sector financiero y sobre la economía de los países, si no son gestionados adecuadamente por las autoridades económicas.

5.1. Implicaciones distributivas de la descarbonización

El Gobierno de España presentó en 2019 el Marco Estratégico de Energía y Clima. Esta estrategia habría de incluir tres documentos fundamentales: la Ley 7/2021 de Cambio Climático, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) presentado en 2020, y la Estrategia de Transición Justa (ETJ) también de 2020. A lo largo de este documento hemos comentado algunos aspectos relevantes de los dos primeros, ahora vamos a centrarnos en el tercero.

Aunque como hemos visto en capítulos anteriores, el necesario proceso de descarbonización de la economía española generará un buen número de oportunidades, no se puede ocultar que traerá consigo también algunos impactos negativos en ámbitos concretos. Un claro ejemplo lo encontramos en el impacto sobre el empleo, la economía y la demografía local en zonas donde operaban centrales de generación eléctrica de carbón que han cesado su actividad en los últimos años.

Evidentemente, esto no es solo una realidad particular de nuestro país. Cualquier Estado que se esté enfrentando al proceso de descarbonización se encuentra con retos de la misma naturaleza. Así, con objeto de minimizar los impactos negativos sobre la actividad, los trabajadores y los territorios, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) propuso en 2013 un marco de trabajo bajo el concepto de Transición Justa. Este marco se actualizó en 2015 incorporando una serie de directrices que buscaban orientar la acción de los diferentes agentes implicados en el proceso de la transición, incluyendo por supuesto el ámbito político. En 2018 España y la OIT firmaron un acuerdo de colaboración para la implementación de las directrices antes mencionadas. En buena medida, la Estrategia de Transición Justa es

¹⁹ Se entiende por activos varados aquellas inversiones que no se pueden recuperar al no poderse utilizar ya los activos (por ejemplo, una refinería que ya no se utiliza si no hay demanda de gasolina).

el resultado de esta colaboración. La ETJ explicita, entre otras cosas, los elementos relacionados con el apoyo a la transformación de los sectores económicos más afectados y con la generación y la protección del empleo, y recoge los impactos tanto positivos como negativos más probables. Nos centraremos aquí en estos últimos.

En primer lugar, mencionamos el caso de la minería del carbón que paralizó su actividad a finales de 2018. Aunque se disponía de una calendariación definida, no ha sido suficiente para desarrollar las medidas de apoyo necesarias. Es necesario, por tanto, poner en marcha algunas actuaciones específicas para aquellas zonas afectadas por este cierre.

Algo parecido ocurre con el cierre programado de las centrales nucleares. Este cierre está marcado por calendarios conocidos y pactados, por lo que las políticas de reconversión y protección del empleo pueden y deben ser implementadas con tiempo. Sin embargo, lamentablemente, parece que tampoco estamos siguiendo esa senda. Existe una central finalizando el proceso de desmantelamiento (Zorita) y otra en la que el cierre está decidido (Garofa) que no cuentan con plan de reactivación. Urge, por tanto, diseñar estos planes, algo en lo que está trabajando la Empresa Nacional de Residuos Radioactivos (Enresa).

Sirvan este par de ejemplos para ilustrar una de las dimensiones más importantes de la descarbonización desde el punto de vista distributivo: el impacto negativo en sectores y territorios concretos, derivado de la paralización de algunas actividades, sobre el empleo y la actividad económica que garantiza la sostenibilidad de esas poblaciones. Ante ello, la ETJ, en su Eje D, plantea una serie de propuestas de actuación que resumimos a continuación:

- Elaborar planes de transformación ecológica y descarbonización con calendarios claros que permitan a todos los actores anticipar las medidas adecuadas de adaptación y transformación.
- Impulsar Convenios de Transición Justa pactados con todas las partes que ayuden a la reactivación económica de los territorios más afectados por la transición.
- Apoyar la diversificación de las empresas más afectadas, de forma que puedan adaptarse y mantener el empleo.
- Promover la realización de Planes de Transición Justa con las empresas o grupos de empresas más afectadas.

El segundo aspecto a tener en cuenta desde esta perspectiva de justicia es el impacto en la pobreza energética. Antes de analizar el impacto esperado

de la descarbonización en esta realidad social, conviene que dediquemos algo de espacio a entender el fenómeno.

La pobreza energética, en un país como España, se podría definir como la incapacidad por parte de un hogar de asumir el coste que conlleva cubrir sus necesidades energéticas esenciales. Es el conocido como problema de “asequibilidad”. Si en lugar de España estuviéramos analizando otro país con un nivel de desarrollo inferior al nuestro, seguramente tendríamos que valorar también la capacidad de los hogares de acceder a los suministros energéticos básicos, especialmente el eléctrico. Por suerte, en España, salvo en muy contadas excepciones, no hay problemas de acceso.

Dentro de la dimensión de asequibilidad nos encontramos con dos realidades diferentes. Por un lado, están los hogares que terminan asumiendo el gasto energético derivado de su consumo a pesar de la presión que genera en su economía. Es el fenómeno conocido como “gasto desproporcionado”. Por otro lado, nos encontramos con hogares que directamente renuncian a cubrir todas o algunas de sus necesidades energéticas por su incapacidad para asumir la factura. Este es el conocido como “gasto insuficiente”, pobreza energética oculta o pobreza energética escondida.

La medición del fenómeno de la pobreza energética, como se desprende de la descripción anterior, no es tarea fácil. Encontrar un indicador que recoja toda su complejidad es tarea imposible. Por ello, tradicionalmente se han venido utilizando diferentes métricas que cubren aspectos particulares.

En 2019, el Observatorio Europeo de Pobreza Energética (EPOV), recientemente reconvertido en la Plataforma de Asesoramiento en Pobreza Energética (EPAH), recopiló los que, a su juicio, eran los cuatro indicadores más adecuados para medir este fenómeno de forma que pudieran hacerse comparaciones entre países. Dos de estos indicadores entran dentro del grupo de indicadores objetivos basados en ingreso-gasto y beben para su obtención de la Encuesta de Presupuestos Familiares que publica el INE cada año en España. El primero es el conocido como indicador “2M”. Se trata de un indicador de gasto desproporcionado que identifica como pobre energético a aquel hogar que dedique a cubrir sus gastos energéticos, en porcentaje sobre sus ingresos, más del doble de lo que lo hace la media de la población española. El segundo indicador, conocido como “M/2”, es un indicador de gasto insuficiente. Según este, un hogar es pobre energético si dedica a cubrir su gasto energético menos de la mitad de lo que lo hace la media de la población.

Además de estos dos indicadores objetivos, el EPOV incorporó como indicadores principales otras dos métricas, en este caso subjetivas. La información para obtenerla proviene de la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV), que se publica también por el INE con periodicidad anual. El primero

de estos indicadores indentifica como pobres energéticos a aquellos hogares que declaran haber dejado de pagar alguna factura energética en los últimos doce meses. El segundo lo hace para aquellos hogares que declaran ser incapaces de mantener una temperatura adecuada en invierno en la vivienda.

Aunque estos cuatro son los indicadores estándar propuestos por el EPOV, y que países como España han adoptado como indicadores oficiales, no son los únicos. Destaca en este aspecto el trabajo que viene realizando la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia Comillas, que, en enero de 2022, publicó un informe de indicadores de pobreza energética en España en 2020 (Romero Mora *et al.*, 2022). En este informe se presentan indicadores adicionales, destacando un indicador de pobreza energética oculta donde el umbral para identificar como pobre energético a un hogar no es un valor medio del conjunto de la población, sino un valor absoluto de gasto energético requerido para poder cubrir las necesidades energéticas reales (Barrella *et al.*, 2022).

Tabla 1 – Indicadores de pobreza energética en España 2017-2020

Indicador primario	2017	2018	2019	2020
Gasto desproporcionado 2M (% hogares)	17,3	16,9	16,7	16,8
Pobreza energética escondida HEP (% hogares)	10,7	11,0	10,6	10,3
Temperatura inadecuada en la vivienda en invierno (% población)	8,0	9,1	7,6	10,9
Retraso en pago de facturas de suministros de la vivienda (% población)	7,4	7,2	6,6	9,6

Fuente: MITECO.

La tabla 1 muestra la evolución de los cuatro indicadores del EPOV publicada por el MITECO en su última actualización. Si nos centramos en la evolución entre 2019 y 2020, el último año para el que hay datos disponibles, vemos que los indicadores objetivos presentan valores bastante estables. No se observa un aumento o un descenso muy significativo ni en el gasto desproporcionado ni en el gasto insuficiente. Aunque 2020 fue un año en el que aumentó el consumo en los hogares por razones del confinamiento, vivimos un escenario de precios bajos que ayudó a limitar el impacto del aumento de ese consumo en la factura. Por otro lado, el escudo social que implantó una moratoria en los cortes de suministro también permitió que los hogares vulnerables sostuvieran su consumo a pesar de las circunstancias.

Los indicadores subjetivos sí crecieron muy considerablemente. Por un lado, el indicador de retraso en pagos refleja una realidad preocupante. Aunque el escudo social antes mencionado no permitió los cortes de suministro, la morosidad aumentó de forma muy notable. Habrá que estar muy atentos a la evolución de esta deuda. Por otro lado, el indicador de percepción de

temperatura inadecuada también aumentó muy notablemente. Este hecho está muy probablemente relacionado con la pobre eficiencia energética de nuestros hogares, donde permanecemos confinados durante semanas, tiempo suficiente para que esa realidad se pusiera de manifiesto con toda claridad.

En el año 2019 el Gobierno de España presentó la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética (ENCPE) 2019-2024. En ella se detallan los principales ejes de actuación en la lucha contra este fenómeno en nuestro país.

El primero de estos ejes tiene que ver con la mejora del conocimiento de esta realidad. Fruto de este eje es el cálculo y actualización de los indicadores que hemos comentado en los párrafos anteriores.

El segundo eje se centra en las medidas de respuesta en el corto plazo. Entre ellas, destacan los bonos sociales, el eléctrico y el térmico. El primero consiste en un descuento en las facturas de electricidad del 25% para hogares vulnerables y de un 40% para los hogares vulnerables severos²⁰. Los beneficiarios de este descuento deben estar acogidos a la tarifa regulada del PVPC y cumplir requisitos de renta y/o pertenecer a alguno de los colectivos vulnerables especiales que detalla la norma. Por otro lado, el bono térmico consiste en una transferencia directa para cubrir necesidades de calefacción por una cuantía que depende del presupuesto público y de la zona climática a todos los hogares beneficiarios del bono social eléctrico. En 2019, la cuantía osciló entre los 25 y los 124 euros por hogar. En ambos casos, se constata que la ayuda es insuficiente. Además, la cobertura actual del bono (en este caso sí coincide, pues el bono térmico se concede a los hogares que ya disponen de bono eléctrico) está muy lejos de cubrir a todos los hogares en pobreza energética. Por último, nos encontramos con el espinoso asunto de la financiación. También aquí hay discrepancias notables. Mientras que el bono eléctrico es sufragado por las comercializadoras de electricidad, el bono térmico corre a cargo de los Presupuestos Generales del Estado.

El tercer eje apunta a la necesidad de cambios estructurales que mejoren la eficiencia energética en los hogares, que ayude al ahorro energético y de ahí se reduzca su nivel de vulnerabilidad energética. Este punto conecta de forma muy directa con los retos y oportunidades en el sector residencial comentados en la sección correspondiente de este informe.

Por último, el cuarto eje recoge medidas de protección adicionales y de concienciación social. Entre ellas destacan las medidas de información, que buscan ofrecer a los hogares los datos que les permitan tomar decisiones más eficientes que se traduzcan en un ahorro directo en sus facturas energéticas.

²⁰ Por la coyuntura de altos precios de la energía que da comienzos a finales de 2021, esos límites se ampliaron temporalmente al 60% y 70%, respectivamente.

Llegamos al final a la pregunta que nos ocupa: ¿tendrá un impacto la transición energética en la pobreza energética? Esta pregunta tiene una respuesta muy clara y directa: sí, el proceso de transición ecológica, en la medida en que implica asumir inversiones que, al menos en el corto y medio plazo, incrementarán los costes generales del sistema energético, terminará de una forma directa o indirecta afectando a los presupuestos de los hogares españoles. Este hecho no es algo que escape a las autoridades europeas, las cuales, en su estrategia Fit for 55, ya anticipan la necesidad de crear un Fondo Social que ayude a los hogares más vulnerables a asumir ese impacto esperado, como se mencionó anteriormente.

A nivel nacional, la Estrategia 2050 a la que nos hemos referido con anterioridad, en su Eje C recoge algunas de las medidas que han de tomarse para afrontar este reto:

- Realizar análisis de los impactos en términos de desigualdad y vulnerabilidad de las políticas de transición ecológica. Es decir, se necesitan estudios robustos que anticipen en la medida de lo posible los impactos más significativos.
- Desarrollar la ENCPE implementando los diferentes planes operativos que esta prevee, constituyendo una Mesa Social de asesoría y seguimiento, y desarrollando los cuatro ejes de actuación anteriormente mencionados.

6. Políticas necesarias

Como hemos podido leer en las secciones anteriores, la transformación asociada a la descarbonización del sector energético español es enorme, al igual que lo son los retos a los que se enfrenta y las oportunidades que presenta el proceso. Para poder resolver los retos y aprovechar las oportunidades, será imprescindible contar con una extensa batería de políticas, algunas transversales y otras sectoriales, pero en cualquier caso con la fuerza suficiente como para poder lograr el cambio tecnológico y el cambio de comportamiento necesarios. Así lo señala, por ejemplo, el reciente informe del Fondo Monetario Internacional (2022), que indica que hacen falta señales económicas suficientemente robustas, y también políticas complementarias.

A continuación, revisamos las principales políticas que sería conveniente implantar en el corto plazo para lograr los ambiciosos objetivos establecidos para la transición energética española. Comenzamos con las políticas transversales (fiscalidad e innovación), para luego detallar otras políticas sectoriales

6.1. *Fiscalidad*

Aunque no puede ser la única política que guíe la descarbonización, el contar con señales de precio que indiquen a los agentes la necesidad y conveniencia de cambiar las tecnologías energéticas que utilizan, o sus comportamientos respecto a la energía, es fundamental para asegurar el éxito de la descarbonización y su realización de forma coste-eficiente. Así lo señala, por ejemplo, el reciente Libro Blanco sobre la Reforma Tributaria (2022), en el que se identifican distintas figuras impositivas que se podrían utilizar para enviar estos incentivos a los agentes.

La mitad de las emisiones españolas ya están sujetas a una señal de precio de CO₂, la generada por el sistema europeo de comercio de emisiones (EU ETS), que además ha sufrido un muy significativo aumento a lo largo de 2021. Sin embargo, la otra mitad de las emisiones, fundamentalmente las asociadas al transporte y a los edificios, no cuentan con señales claras de descarbonización. La primera política pues sería introducir señales de precio en estos sectores. De hecho, ya existe una propuesta europea para crear un sistema de comercio de emisiones para estos sectores, actualmente en fase de negociación. Y también existe una propuesta de fiscalidad energética europea que requeriría aumentar los impuestos al uso de la energía en España, en parte en función de sus emisiones de CO₂.

Sobre estas propuestas europeas también se pueden añadir las siguientes ideas (recogidas asimismo en el Libro Blanco antes citado):

- Situar en igualdad de condiciones a los distintos combustibles y tecnologías, y en particular no desincentivar innecesariamente los vectores energéticos más favorables a la descarbonización, como la electricidad. Esta es la línea seguida, por ejemplo, por la reciente propuesta de creación del Fondo Nacional para la Sostenibilidad del Sistema Eléctrico, que traslada algunos cargos soportados por la electricidad al resto de vectores energéticos.
- También, en la misma línea, será necesario gravar en términos homogéneos los distintos combustibles utilizados para el transporte.
- Utilizar los impuestos de matriculación y circulación para desincentivar la compra de vehículos pesados y contaminantes de forma más efectiva que con impuestos a la utilización o a los combustibles.
- Creación de tributos sobre la congestión.
- Introducción de pagos por uso en las infraestructuras viarias.

Ahora bien, como mencionábamos al comienzo, es preciso recordar que la efectividad de los impuestos es limitada a corto plazo, debido a la baja elasticidad de las demandas energéticas. Traducido a términos más

fácilmente entendibles: cuando subimos el precio de los combustibles, su demanda se reduce, pero solo en la medida en la que somos capaces de encontrar alternativas. Y estas, a corto plazo, son escasas. Este efecto se refuerza además por la racionalidad limitada de los agentes, para los que el gasto energético no es necesariamente una prioridad (más allá de momentos excepcionales como el que estamos viviendo). Por tanto, nuestros comportamientos no cambian demasiado ante una variación no significativa en el precio.

En parte por esta baja posibilidad de responder a corto plazo, los impuestos pueden suponer una reducción importante del bienestar, al reducir la capacidad de consumo de las familias o aumentar los costes productivos. Esto es especialmente relevante, en el caso español, en el sector del transporte, por el gran peso relativo que tiene en nuestra economía. Nuestras simulaciones (Robinson *et al.*, 2019) muestran que cualquier aumento de impuestos en el transporte se traslada automáticamente, en el corto plazo, a una reducción del PIB. En el caso de las ciudades, esto depende además en gran medida de la disponibilidad de alternativas (transporte público u otras formas de movilidad). De nuevo, nuestro análisis (Danesin y Linares, 2018) sobre distintas ciudades muestra claramente este efecto. En las ciudades más pequeñas, la falta de alternativas se traduce en una reducción del bienestar y también en la imposibilidad de reducir emisiones. Las reducciones de bienestar son mayores además en el caso de las familias de menor renta, ya que no cuentan con posibilidades económicas para cambiar de comportamientos o equipos.

Por lo tanto, es imprescindible, para minimizar los efectos negativos e impedir que esto ponga en riesgo la transición, considerar enfoques híbridos en los que se combine una cierta señal proporcionada por la fiscalidad con ayudas y regulaciones focalizadas en corregir los problemas distributivos y de ajuste, como por ejemplo ayudas (para familias de renta baja, para evitar posibles efectos de *free-riding*²¹) para sustituir vehículos o equipos de calefacción.

Finalmente, es importante recordar que el aumento planteado para la fiscalidad energética debería realizarse en un contexto de reforma fiscal amplio, en la que la mayor recaudación asociada a motivos ambientales se utilice para reducir otros impuestos distorsionantes (como las cotizaciones sociales). También será relevante reflexionar, tal como hace el Libro Blanco, sobre el peso de la fiscalidad autonómica o local en cada una de las cuestiones.

²¹ El fenómeno de *free-riding* en este caso es aquel por el cual los agentes aprovechan las ayudas para sustituir equipos que hubieran cambiado de todas formas. Por ejemplo, una familia podría haber decidido ya cambiar su vehículo independientemente de la ayuda, con lo que la ayuda no modifica su decisión y, por tanto, supone un despilfarro de los fondos públicos.

6.2. Innovación y política industrial

Algunas de las tecnologías necesarias para la descarbonización ya están disponibles y son competitivas, como la energía eólica o la solar fotovoltaica. Pero otras aún no son competitivas (como el almacenamiento) o no están disponibles a nivel comercial (como las necesarias para descarbonizar la industria intensiva en energía). Por lo tanto, si queremos disponer de estas tecnologías, y además aprovechar su desarrollo como oportunidad de crecimiento industrial en España y en Europa, será necesario desplegar políticas inteligentes de innovación y de desarrollo industrial (que deberían estar muy conectadas).

Para ello, el primer paso debería consistir en alinear las prioridades de investigación e innovación con las necesarias para lograr una economía y sociedad climáticamente neutras en 2050, tal como ya ha hecho la Comisión Europea con sus “Misiones”. Ahora bien, no basta con identificar las líneas prioritarias y articularlas alrededor de misiones estratégicas. Es imprescindible hacer evolucionar el ecosistema de innovación desde uno como el actual, más incremental y burocrático, hacia uno más adaptado a las incertidumbres que presenta una transición ecológica de la magnitud que se propone y mucho más orientado hacia una gestión más inteligente de los riesgos.

En primer lugar, es necesario reconocer el poder tractor y central de la inversión pública en innovación, tanto financiando propuestas de universidades públicas o privadas como mediante la operación de los centros públicos de investigación (algunos de ellos punteros) con los que cuenta nuestro país. Pero a la vez, es preciso, tal como nos indican Anadón *et al.* (2017) o Doblínger *et al.* (2019), reforzar la interacción de los centros públicos con el sector privado y en particular con las *start-ups* tecnológicas, eliminar la separación (muchas veces artificial) entre investigación básica y aplicada, y aumentar la flexibilidad en la gestión, de forma que la inversión pública pueda asumir mayores riesgos (y los mayores beneficios correspondientes).

Y es que “una gestión exitosa de la I+D requiere la capacidad institucional para hacer inversiones de alto riesgo y alto retorno, lo cual implica la necesidad de la tolerancia al fracaso y de ciclos de inversión y revisión más largos” (Anadón *et al.*, 2017). Por un lado, esto necesitará dotar a los centros públicos de investigación de mayor autonomía y responsabilidad. Por otro, puede requerir crear nuevas instituciones con una cultura más orientada a esta asunción de riesgos. En este sentido, pueden aprenderse muchas lecciones de organizaciones orientadas a la misión y con una actitud proactiva frente al riesgo como ARPA-E en EEUU, Yozma en Israel, SITRA en Finlandia o Vinnova en Suecia. Otros ejemplos de referencia de los que también sería interesante aprender son los Energy Frontier Research Centers (EFRC) y los

Energy Innovation Hubs (EIH), que se crearon con el objetivo de cubrir los huecos en la estructura de innovación estadounidense y ayudar así, por un lado, a desarrollar innovación más arriesgada y, por otro, a mejorar el flujo de la innovación desde la investigación básica hasta el desarrollo, demostración, comercialización y difusión.

Los EFRC son centros de excelencia multidisciplinares, alojados en universidades, centros de investigación, organizaciones sin ánimo de lucro o empresas comerciales, independientes o en colaboración con otras instituciones, que se seleccionan por un panel científico y se financian por un periodo inicial de 5 años, con entre 2 y 5 millones de dólares al año. Actualmente hay 46 EFRC activos en EEUU. Son similares a los centros María de Maeztu (centros de excelencia en investigación reconocidos por el Gobierno español), pero evidentemente focalizados en los grandes retos de la energía en lo que se refiere a investigación básica. De hecho, cada centro debe responder a un reto concreto.

Los EIH (Energy.gov, 2022) son centros multidisciplinares focalizados en áreas de gran promesa en materia energética, desde sus etapas iniciales de investigación hasta que el riesgo baja lo suficiente como para que la industria pueda comercializar las tecnologías. Están inspirados en el proyecto Manhattan o los laboratorios Bell. El primer EIH se estableció en 2010. Actualmente hay cuatro: reactores de agua ligera, fotosíntesis artificial, almacenamiento de energía y materiales críticos. Reúnen equipos de investigadores académicos, industriales y centros de investigación públicos, tratando de atraer talento de todos ellos. Y su estructura de gestión es lo suficientemente flexible como para que los gestores puedan tomar decisiones ágiles acerca de la evolución de la investigación.

Finalmente, todo este desarrollo de la innovación debe conectarse con una política industrial inteligente, orientada no a la defensa del *statu quo*, sino a la promoción de una verdadera cultura de la competitividad global de la industria española.

6.3. Sector eléctrico

En el sector eléctrico las políticas específicas deberían ir orientadas a la creación de sistemas de operación, mercados y estructuras tarifarias que respondan al nuevo contexto tecnológico de un sistema eléctrico descarbonizado y descentralizado, basado principalmente en energías renovables de carácter variable.

Tal como se ha señalado en el apartado correspondiente, en el ámbito de la operación del sistema será necesario disponer de protocolos y sistemas de gestión de reservas que permitan operar de forma segura un sistema

más variable y en el que habrá menos inercia. Ello requerirá fundamentalmente diseñar protocolos de operación que incentiven adecuadamente la flexibilidad y la contribución de todas las fuentes que puedan aportarla (en particular la flexibilidad aportada por la demanda).

Para dar las señales adecuadas de operación de medio plazo y de inversión, resultará esencial mejorar el diseño del mercado eléctrico. Esto debería incluir, al menos, la creación de mercados de capacidad que incentiven la inversión en potencia firme y flexible de forma lo más neutral tecnológicamente posible. La solución ideal sería la creación de opciones de fiabilidad, un mecanismo por el cual el operador del sistema compra (por un procedimiento competitivo) a los agentes la opción de contratarles una cantidad de energía a un precio dado, de forma que se establece implícitamente un precio máximo en el mercado (lo que evita picos de precios y malestar social) y a la vez se remunera de forma estable la instalación de la potencia necesaria. Si estas opciones se instrumentan sobre los distintos mercados, se logra el balance apropiado de potencia firme y flexible para el sistema. Esta política es mucho más eficiente y transparente que la propuesta actual de mercados de capacidad planteada por el Gobierno.

Para evitar problemas de sobrerretribución de tecnologías agotadas (es decir, en las que ya no tiene sentido invertir más) o financiadas con marcos regulatorios anteriores (como la nuclear o la hidráulica), podría considerarse la posibilidad de remunerarlas mediante contratos por diferencias²², que, sin sacarlas del mercado (y por tanto de las señales de operación óptima), aseguraría un coste razonable para los consumidores.

Por otro lado, parece igualmente necesario establecer mecanismos para promover la inversión en energías renovables, pero dejando un espacio al mercado, tal como se está realizando actualmente en España con las subastas por cantidades significativas, pero inferiores a las necesarias.

Sería conveniente también terminar la evolución ya comenzada de los mecanismos de remuneración de las redes hacia sistemas que retribuyan los resultados (el funcionamiento eficiente de las redes y de los sistemas asociados) y no la inversión en sí misma, que termina siendo sobreincentivada.

²² Los contratos por diferencias son contratos en los que se asegura un precio medio, pero con referencia a un mercado con precios variables, de forma que cuando el precio del mercado supera el precio del contrato se devuelve la diferencia, y cuando el precio de mercado se sitúa por debajo del negociado, se aporta la diferencia. Estos contratos permiten asegurar una remuneración media, a la vez que mantienen la señal eficiente de operación que ofrece el precio de mercado.

Finalmente, el diseño de tarifas debería asimismo modificarse para transmitir de forma apropiada a los consumidores la necesidad de descarbonizar sus consumos y de hacerlo de forma eficiente. Estas modificaciones deberían incluir los siguientes aspectos:

- Reflejar en el término fijo de la tarifa todos los costes fijos del sistema y no trasladar ningún coste fijo al término variable. Esto, por un lado, envía las señales óptimas de eficiencia en el consumo y en la inversión a los agentes y, además, elimina los posibles subsidios cruzados a la eficiencia energética o al autoconsumo, que, de ser deseables, deberían hacerse explícitos. También permite escoger de forma eficiente entre modelos centralizados y distribuidos.
- Introducir criterios de equidad en la recuperación de los costes fijos, haciéndolo por criterios asociados a la renta de los agentes (por ejemplo, con cargos proporcionales al impuesto sobre bienes inmuebles).
- De acuerdo con lo anterior, el término variable (calculado sobre el consumo de energía) únicamente recogería los costes adicionales incurridos por el hecho de tener que producir la cantidad necesaria de energía o de redes.

Si bien este diseño de tarifas lograría asignar los recursos de forma eficiente, puede tener consecuencias negativas sobre los segmentos de menor renta. Por lo tanto, será necesario acompañarlo de medidas que los protejan.

6.4. Transporte

El transporte es el sector responsable del mayor volumen de emisiones de CO₂ en España y, por tanto, seguramente, el que requiera políticas más vigorosas para su transformación. Existen distintos tipos de políticas recomendables.

Las más prioritarias deberían ser las que tratan de reducir la demanda de movilidad, tanto desincentivando la demanda “no esencial” como incentivando el cambio modal, es decir, el uso de modos menos contaminantes (como la movilidad activa o el transporte público) para satisfacer las necesidades de movilidad. Además de las medidas fiscales ya comentadas que encarecen el coste relativo de los desplazamientos, las políticas complementarias deberían incluir las dirigidas a mejorar la calidad del transporte público (no necesariamente su volumen), mediante el rediseño de rutas o el aumento del confort del desplazamiento. Estas, sin embargo, son políticas más eficientes en entornos urbanos, que, por tanto, deberían ser los primeros en los que se implantaran. Otra posibilidad es incentivar el *car pooling*, es decir, el

uso compartido del vehículo privado, que tiene una traducción inmediata en términos de reducción de emisiones. También tienen gran importancia en este ámbito las políticas urbanísticas dirigidas a reducir la necesidad de desplazamientos o a dotar con suficiente transporte público las áreas más demandadas, o las políticas que incentivan los planes de movilidad sostenible en las empresas.

La siguiente alternativa sería la promoción de vehículos eléctricos, aunque siempre cuidando de que no se generen efectos rebote indeseados (como un aumento de las emisiones de la flota no electrificada: véase, por ejemplo, Economics for Energy, 2020). El coste de esta política es superior al de las referidas anteriormente, en tanto exista diferencial de coste con los vehículos convencionales. Sin embargo, puede ser conveniente estimular la demanda de estos vehículos para poder recorrer la curva de aprendizaje tecnológico y lograr costes competitivos en un horizonte cercano. En cualquier caso, dado que el proceso de innovación es global, es fundamental combinar las políticas de incentivo a la demanda con políticas industriales y tecnológicas que permitan generar valor añadido en nuestro país. También debe prestarse particular atención a los posibles efectos distributivos negativos: los hogares más propensos a utilizar las ayudas son precisamente los de mayor renta.

Finalmente, el tercer grupo de políticas sería aquel dirigido a retirar o reducir el uso de los vehículos convencionales, sobre todo de los más contaminantes. Dado que las políticas europeas se dirigen a los vehículos nuevos, existe un importante nicho para las políticas nacionales en este ámbito. Este es un tipo de política muy efectiva, pero muy cara, ya que requiere deshacerse de vehículos con un valor residual aún significativo. Aquí se podrían considerar ayudas al achatarramiento (que presentan riesgos distributivos, de *free-riding*, de captura por los fabricantes o de picos de venta²³) o también limitaciones como las zonas de bajas emisiones, que impiden la circulación de los vehículos más contaminantes y, por tanto, pueden obligar de alguna forma a su sustitución (aunque también podrían resultar simplemente en un desplazamiento de estos vehículos a zonas no reguladas). También se incluyen en este grupo las propuestas, ya generalizadas en la Unión Europea, de prohibir la venta de vehículos convencionales a partir de una determinada fecha, y que son interesantes siempre que el aviso se dé con suficiente antelación, de forma que haya alternativas asequibles.

²³ Se ha constatado como a veces las ayudas son "capturadas" por los fabricantes, que, por lo tanto, no las trasladan a un menor coste de los vehículos para los compradores. También se ha verificado que estas ayudas, si no son estables en el tiempo, pueden generar concentración de ventas ("picos") en las épocas de las ayudas, sin que esto suponga un aumento real de ventas.

6.5. Edificios

Recogemos en este epígrafe algunas de las propuestas ya anticipadas en secciones anteriores dedicadas a los retos de la descarbonización en el sector residencial y a los impactos distributivos en los mismos.

Dos son las estrategias principales para la transición hacia un sector residencial totalmente descarbonizado en 2050: 1) sustitución de tecnologías que cubren demanda térmica por alternativas electrificadas y/o renovables de uso final, y 2) actuaciones dirigidas al ahorro y la mejora de la eficiencia energética en los edificios.

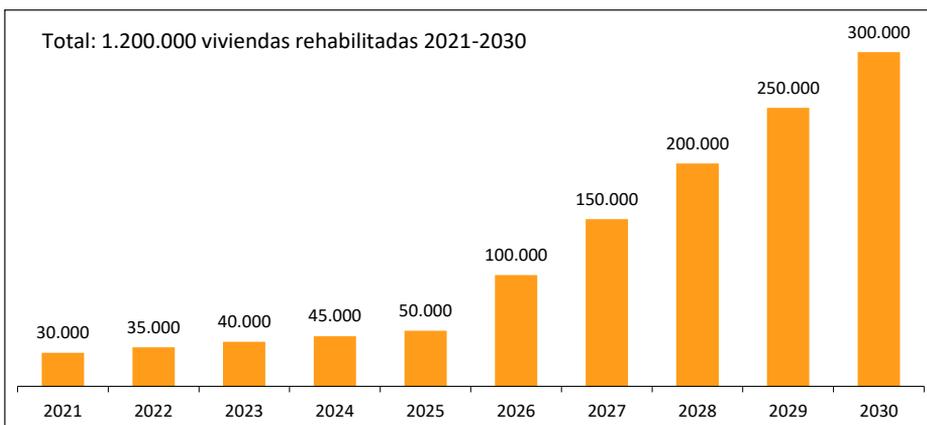
Estos dos grandes vectores quedan desarrollados en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima de la siguiente manera:

Medidas de eficiencia energética en edificios existentes

Se trata de la medida principal y recoge los dos vectores antes mencionados. El documento de referencia para su implementación es la ERESEE. El gráfico 34 recoge el número de viviendas que se estima que se rehabilitarán en cada año de la década 2021-2030.

Los mecanismos que habrán de hacer posible cumplir estos objetivos son de tipo fiscal (aún por definir), de certificación energética (desarrollado en el Real Decreto 390/2021), iniciativas de apoyo público a fondo perdido o de financiación parcial de actuaciones (se estima que alrededor de 7.000 millones de euros de los Planes de Recuperación y Resiliencia irán destinados a estas actuaciones) y otros programas de formación, información y comunicación.

Gráfico 34 – Objetivos de renovación de edificios en España. 2021-2030



Fuente: MITECO.

Medidas de renovación del equipamiento residencial

Esta segunda medida, de alcance más limitado que la anterior, se centra en reducir el consumo energético de los principales dispositivos eléctricos del hogar: electrodomésticos (línea blanca) y el resto (línea marrón). No se plantean en este caso mecanismos de financiación pública. Las principales políticas consistirán en acuerdos voluntarios con fabricantes, distribuidores y consumidores, así como políticas de formación, información y comunicación.

En relación con medidas que palién los posibles efectos distributivos de la transición en el ámbito residencial, recuperamos algunas de las claves anteriormente citadas sobre pobreza energética.

La ENCPE establece cuatro ejes de actuación. El primero apunta a la necesidad de seguir generando un conocimiento lo más preciso posible sobre la realidad de la pobreza energética en nuestro país. El segundo se refiere a medidas paliativas. En este sentido, urge una reforma de los bonos mediante el diseño de un bono energético integrado (eléctrico y térmico) que represente una cuantía adecuada lo máximo posible a la realidad socioeconómica de cada hogar; que se vehicule como una transferencia finalista (destinada únicamente al gasto energético); que aumente su cobertura para llegar a todos los hogares identificados como pobres energéticos por los indicadores principales (en la actualidad se benefician del bono social aproximadamente 1,1 millones de hogares, lo que deja fuera casi a la mitad de los hogares considerados pobres energéticos por los principales indicadores), excluyendo a su vez a colectivos, como las familias numerosas de alta renta, que no lo necesitan; y que, como política social que es, sea sufragado a cargo de los Presupuestos Generales del Estado.

El tercer eje se refiere a medidas de eficiencia energética en los edificios. Aquí remitimos a las medidas 1 y 2 presentadas en los párrafos anteriores. Por último, el eje 4 propone la mejora en la gestión de la información sobre hábitos y consumos en los hogares, de forma que estos puedan adoptar medidas que mejoren la eficiencia en sus usos energéticos con el consiguiente ahorro que esto conlleva.

6.6. Industria

La descarbonización de la industria requiere políticas con visión de largo plazo (dada la larga vida de las inversiones industriales) y orientadas a estimular la competitividad de la industria española en un contexto global descarbonizado, para de esta forma poder mantener el empleo a lo largo de la transición y una vez realizada.

Para asegurar esta competitividad, el primer paso es el ya mencionado de conectar estrechamente las políticas de innovación y las políticas industriales, para que el desarrollo industrial esté basado en la innovación continua en tecnologías descarbonizadas.

El segundo paso, como para el resto de sectores, es enviar las señales apropiadas para la operación e inversión. A este respecto, es importante recordar que el sector industrial está sujeto al sistema europeo de comercio de emisiones y, por tanto, a un precio del CO₂. Sin embargo, las preocupaciones acerca de la fuga de emisiones y de la competitividad global de la industria europea hacen que la mayoría de la industria reciba permisos de emisión gratuitos (aunque sujetos a estándares de eficiencia). Por ello, no recibe la señal completa de descarbonización. Para que recibiera esta señal –y, por tanto, el incentivo apropiado–, sería necesario retirar esta asignación gratuita, algo que solo se puede hacer si se cuenta con un mecanismo de protección frente otros productos industriales de regiones en las que no existe una regulación similar. A continuación, recogemos las propuestas realizadas por alguno de los autores en el marco de la Plataforma Europea de Materiales Amigables con el Clima.

La primera opción para contar con esta protección serían los ajustes en frontera para imponer un precio al CO₂ sobre los productos importados (en función de su intensidad en carbono), y potencialmente devolviendo a las exportaciones el precio del CO₂ pagado en Europa. Esto, combinado con la sustitución de la asignación gratuita por una subasta completa de los permisos de emisión, en principio permitiría lograr un traspaso completo de los precios de carbono a los productos y así incentivar la reducción de emisiones. Sin embargo, los ajustes en frontera pueden tener problemas frente a la Organización Mundial del Comercio, si se consideran medidas proteccionistas. Actualmente existe una propuesta europea en este sentido, aunque con algunos problemas (fundamentalmente la exención de exportaciones y el cómputo de emisiones).

Una segunda opción son los impuestos al consumo para materiales intensivos en carbono. Estos impuestos se aplicarían sobre la producción, que los iría transmitiendo hasta el consumidor, en función del uso de materiales intensivos en carbono en cada producto (Roberts y Haussner, 2021). Esto reintroduciría la señal de precio del CO₂ en la cadena de valor y, por tanto, crearía mercados de largo plazo para la reducción de emisiones a la vez que aseguraría la protección contra la fuga de emisiones (Pollitt *et al.*, 2020). La ventaja de estos impuestos al consumo frente a los ajustes en frontera es que son menos controvertidos desde el punto de vista del comercio internacional, ya que no están asociados a ningún proceso de producción o localización geográfica y, además, son más sencillos administrativamente, al no requerir reembolsos. Los proyectos piloto de

establecimiento de estos impuestos serían muy convenientes para explorar distintas formas de implantación. Además, aunque la recaudación podría utilizarse para financiar acciones climáticas o de innovación, una parte también podría reembolsarse a los ciudadanos bajo principios de equidad (como se hace en Suiza).

Sin embargo, y por distintas razones, el precio del CO₂ en sí mismo no creará suficientes incentivos para la transformación industrial. Primero, el nivel del precio solo se incrementará gradualmente. Segundo, la incertidumbre regulatoria restringe el acceso y aumenta el coste del capital para invertir en procesos limpios. Por lo tanto, el precio debe ser complementado en el corto plazo con otras políticas que creen demanda y protejan contra la incertidumbre.

Los contratos por diferencias para el CO₂ para proyectos pueden ayudar a crear esta demanda de procesos y materiales bajos en carbono, a la vez que a proteger frente a la incertidumbre a las grandes inversiones necesarias (Berlin, 2017). Estos contratos se establecen entre un Gobierno nacional y una empresa que desarrolle un proyecto bajo en carbono, y pagan la diferencia entre el precio medio anual de los permisos de emisión en el ETS y un precio de opción acordado, asegurando así un precio estable y garantizado para el CO₂. A cambio de esta garantía, los inversores se comprometen a realizar inversiones a gran escala para fabricar productos libres (o con muy bajo contenido) de carbono. Los contratos ayudan a cubrir la diferencia de costes, actualmente insostenible con precios bajos de CO₂. También ayudan a reducir los costes de financiación, al estabilizar el flujo de ingresos.

Los procesos de producción bajos en carbono también requerirán el suministro competitivo de grandes cantidades de electricidad baja en carbono, en particular eólica y fotovoltaica. Para ello serán necesarios sistemas de planificación, acceso a red e integración en los sistemas. Pero, además, puede ser conveniente reducir el coste de la financiación de los nuevos proyectos. En este sentido, los contratos competitivos garantizados por el Estado (basados en contratos por diferencias o de otro tipo) protegen a los inversores renovables frente a la volatilidad de los precios de mercado y con ello logran reducir los costes de financiación, así como asegurar la competencia entre actores grandes y pequeños, lo cual conlleva una reducción de los costes de la electricidad renovable.

Otra opción es la compra pública verde que incluya requisitos relevantes respecto al CO₂, o un precio sombra de CO₂, que aumente la viabilidad económica de los materiales bajos en carbono frente a los contratos públicos, o que requiera estos materiales en las especificaciones técnicas. De esta forma se creará, por parte de las Administraciones Públicas, una demanda

adicional para el diseño de productos bajos en carbono, la selección de materiales, la fabricación eficiente y el uso apropiado de estos productos. Las Administraciones Públicas pueden de esta forma controlar las emisiones embebidas en las infraestructuras o edificios que encargan. Para incentivar adecuadamente toda la cadena de valor, la compra pública debería complementarse con la inclusión de los materiales intensivos en energía en las políticas europeas y nacionales de economía circular.

A más largo plazo, puede ser necesario establecer fechas límite para la producción de materiales intensivos en carbono, con el fin de definir un calendario de actuación para los agentes públicos y privados que permita gestionar mejor la transición.

A estos efectos, el establecimiento de sistemas de homologación y certificación que prohíban el uso de materiales intensivos en carbono pueden ayudar a realizar esta transición, si se complementan con ayudas a la introducción de procesos bajos en carbono. De esta forma se indicaría a los agentes que los procesos actuales intensivos en carbono no deberían considerarse una opción viable en el siguiente ciclo de inversión. La implementación gradual de estos sistemas, de forma coordinada con los socios comerciales, facilitaría el cumplimiento y limitaría las fricciones comerciales.

Finalmente, todas estas políticas deben acompañarse de un proceso de concienciación y formación cívica, que ayude a aceptar los cambios y a amplificarlos desde la sociedad.

7. Conclusiones

7.1. La urgencia y la magnitud de la transformación

La necesidad de impedir que el cambio climático alcance niveles no deseables a escala global requiere, en todos los escenarios, una reducción urgente de las emisiones de gases de efecto invernadero de carácter antropogénico. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático concluye que, para no superar en 2100 un calentamiento de 1,5 °C respecto a la época preindustrial (en la actualidad ya llevamos un grado de aumento respecto a ella), sería necesario lograr unas emisiones netas nulas en 2040. Este límite de aumento es más seguro, en particular para las zonas más vulnerables, que el establecido oficialmente en el Acuerdo de París, de 2 °C, y que requeriría entre un 50% y un 80% de reducción de las emisiones globales en 2050.

Según los principales escenarios energéticos globales, esta transformación es posible, aunque requerirá un muy importante despliegue de energías renovables, vehículos eléctricos y sistemas de climatización

eléctrica; cambios en los comportamientos sociales (en particular la demanda de movilidad); uso a gran escala de biomasa e hidrógeno renovable; y también la utilización de tecnologías de captura, uso y almacenamiento de carbono. El volumen de inversión necesario para realizar esta transformación se sitúa en torno a los 130 billones de dólares americanos hasta 2050. Esto supone incrementar la ambición climática en los compromisos realizados por los distintos países en el marco del Acuerdo de París, que nos llevarían únicamente a limitar el calentamiento a 2,3 °C.

En este contexto global, las regiones más desarrolladas, como Europa y España, deben realizar un mayor esfuerzo, también por su mayor responsabilidad histórica en las emisiones acumuladas. Así, Europa y España han fijado un objetivo de neutralidad climática para 2050. Es decir, en ese año las emisiones de gases de efecto invernadero de carácter antropogénico no podrán superar el volumen de estos gases retenido por los sumideros naturales (fundamentalmente ecosistemas forestales).

Este objetivo de neutralidad, para España, implica abandonar totalmente los combustibles fósiles y sustituirlos por energías renovables para la producción de electricidad, y por gases renovables que puedan sustituir a los fósiles en la industria y el transporte pesado. El Gobierno español ha elaborado ya una hoja de ruta para alcanzar este objetivo: el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, que llega hasta 2030, y la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, hasta 2050. Los objetivos fijados por la Estrategia son:

- Desacoplar el consumo de energía final del crecimiento económico.
- 97% de energías renovables en el consumo final de energía.
- 100% de renovables en el sector eléctrico.
- Disminuir la dependencia energética exterior del 73% hasta el 13%, ahorrando 344.000 millones de euros anuales en importación de combustibles fósiles.
- Al menos la mitad de la economía estará electrificada, instalando en torno a 250 GW de potencia renovable para ello.
- Desarrollo del hidrógeno renovable y los combustibles renovables.
- 90% de reducción de emisiones con respecto a 1990, alcanzando la neutralidad climática gracias a los sumideros de carbono.
- Avanzar en la adaptación al cambio climático, la cual tiene importantes sinergias con la mitigación.

Para lograr estos objetivos, el transporte deberá reducir sus emisiones cerca del 98% respecto a valores actuales, siendo un 79% de la energía final de origen renovable. Los edificios deberán reducirlas al 100%, mientras que otros sectores más complicados de descarbonizar tienen mayor margen: la industria deberá reducir sus emisiones en un 90% y los sectores agropecuarios en torno al 60%.

Esta transformación presenta un buen número de retos, tecnológicos y sociales, que presentamos de forma breve a continuación. Pero, como hemos mencionado antes, también ofrece interesantes oportunidades.

7.2. *Los principales retos*

El sector eléctrico constituye el núcleo de la descarbonización del sistema energético español. Por un lado, este sector es en el que las energías renovables son más competitivas, pudiendo desplazar ya a las nuevas inversiones en energías fósiles. Por otro lado, la electricidad descarbonizada es una de las mejores opciones para descarbonizar el transporte (mediante vehículos eléctricos) o los edificios (con bombas de calor para climatización). Ahora bien, un sistema eléctrico como el descrito, basado casi en su totalidad en fuentes renovables, algunas de ellas variables, como la eólica o la solar fotovoltaica, y con un tamaño muy superior al presente, presenta importantes retos técnicos, regulatorios y políticos. Será necesario diseñar los sistemas técnicos y económicos (mercados) que permitan integrar de forma masiva y segura las energías renovables. En particular, habrá que desarrollar tecnologías de almacenamiento, fomentar la eficiencia y flexibilidad de la demanda y aumentar las interconexiones. También será preciso diseñar nuevos mecanismos e incentivos económicos para la inversión en renovables, almacenamiento y reservas, y enviar las señales adecuadas a los agentes consumidores, en forma de tarifas que reflejen adecuadamente los costes y permitan la competencia equilibrada entre modelos centralizados y descentralizados.

El sector del transporte debe, por un lado, encontrar cómo reducir la demanda de movilidad, cómo desplazar dicha demanda hacia modos más sostenibles y cómo electrificar de forma masiva el transporte por carretera (lo que no solo requiere introducir vehículos eléctricos sino también infraestructuras de recarga). El transporte marítimo y el aéreo, más difíciles de electrificar, deberán encontrar soluciones descarbonizadas, como los gases renovables o los biocombustibles.

En el caso de los edificios, los retos fundamentales son, por un lado, electrificar los consumos, fundamentalmente de calefacción y agua caliente, y, por otro, mejorar la eficiencia energética de los hogares mediante el

aislamiento térmico. Esto requeriría coordinar actuaciones privadas con ayudas públicas a todos los niveles de la Administración.

Finalmente, el sector industrial es posiblemente el que presenta mayores retos: a la variabilidad de los procesos industriales se suma la falta de disponibilidad comercial de muchas de las tecnologías necesarias para la descarbonización y la larga vida útil de las inversiones. El fomento de la economía circular, que reduzca las necesidades de materias primas, será esencial en este ámbito, así como el desarrollo de los gases renovables y de las tecnologías de captura, uso y almacenamiento de CO₂.

7.3. Cómo aprovechar las oportunidades

Uno de los elementos más positivos de la transición energética y la descarbonización es que, si se realiza correctamente, no solo conseguiremos el primer dividendo: la reducción del impacto del cambio climático; también podremos aprovechar la transformación tecnológica y social para construir un modelo económico más sostenible, más justo, más innovador y más competitivo a escala global.

Así, el análisis realizado por BC3 para el Ministerio para la Transición Ecológica estima que el PNIEC podría movilizar una inversión adicional de casi 200.000 millones de euros, lo que supondría un crecimiento del PIB de casi un 2% en 2030, y la creación de entre 250.000 y 350.000 empleos. Si, además, se lograra construir el tan buscado liderazgo tecnológico en algunas áreas, estas cifras podrían incluso aumentar.

Ahora bien, la clave para lograr estos beneficios económicos además de los medioambientales está en la estrategia de inversión y en las políticas que acompañen a la descarbonización. Para ello, el programa de inversiones para la descarbonización debería ir acompañado de un importante paquete de reformas y de inversiones en capacidades tecnológicas, formativas y de innovación, de forma que sea posible construir cadenas de valor competitivas en nuestro territorio y con ello retener la mayor cantidad posible del valor añadido asociado a la descarbonización.

Esta creación y retención de valor será esencial además para poder compensar a los perdedores de la transición: aquellos sectores u hogares más vulnerables al aumento de coste y pérdida de renta que puede suponer el abandono de los combustibles fósiles. Y es que es importante recordar que cualquier transición tiene costes: unos costes más acentuados a corto plazo, y más localizados en algunos segmentos de la sociedad, que unos beneficios que serán futuros y más distribuidos. La gestión correcta de los costes de la transición, no solo en términos económicos sino también comunicativos, será imprescindible para lograr el apoyo social necesario para llevarla a cabo.

7.4. *La importancia de las políticas*

El establecimiento de unos objetivos ambiciosos para la descarbonización de la economía española, como los formulados por la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, ha sido un elemento muy bienvenido, tras años de relativa inacción. También deben acogerse con satisfacción los planes de medio plazo (PNIEC) y de largo plazo (Estrategia de Descarbonización), así como las hojas de ruta elaboradas por el Gobierno.

Pero, para que realmente se active la descarbonización, hace falta dar un paso más: hay que implantar las políticas necesarias para que los agentes económicos y sociales reciban las señales adecuadas para el cambio tecnológico y el cambio de comportamientos. Y también será necesario desplegar políticas complementarias que acompañen a estos cambios, los amplifiquen a través de la concienciación y formación cívicas, ayuden a los que lo necesitan y protejan a los vulnerables.

Algunas de estas políticas deben ser transversales, como las fiscales y de innovación. En cuanto a la fiscalidad, será preciso proceder a una reforma, en la línea de la propuesta por el Libro Blanco sobre la Reforma Tributaria, que sitúe en igualdad de condiciones de cara a la descarbonización a los distintos combustibles y tecnologías, y que los grave de forma homogénea. También será conveniente revisar otros tributos como los impuestos de matriculación o de circulación, para desincentivar la compra de vehículos más contaminantes. Pero, a la vez, habrá que minimizar los efectos negativos de la fiscalidad para los sectores vulnerables, combinándola con ayudas y regulaciones dirigidas a corregir problemas distributivos o de ajuste.

En segundo lugar, habrá que desplegar políticas inteligentes de innovación y de desarrollo industrial. El primer paso debería consistir en alinear las prioridades de investigación e innovación con las necesarias para lograr una economía y sociedad climáticamente neutras en 2050; y posteriormente, modificar el diseño institucional de forma que haya más flexibilidad, más asunción de riesgos, menos separación entre investigación básica y aplicada y más conexión entre el sector público y el privado.

En el sector eléctrico, las políticas deben dirigirse fundamentalmente a crear las señales necesarias para la inversión, operación y consumo eficientes. Ello implicará una mejora del diseño de los mercados eléctricos y de la estructura de tarifas.

En el sector transporte, las políticas prioritarias deberían ser las que tratan de reducir la demanda de movilidad e incentivar el cambio modal. Esto incluiría medidas fiscales, pero también mejoras en la calidad del transporte público, incentivos para compartir vehículos, políticas urbanísticas que reduzcan la necesidad de desplazamientos privados, o las políticas de

movilidad sostenible empresarial. Además, será conveniente promover, en las primeras etapas, el despliegue del vehículo eléctrico y las estaciones de recarga, aunque cuidando de los efectos distributivos negativos. Por último, puede ser conveniente establecer políticas que incentiven la retirada de vehículos antiguos.

En el caso de los edificios, las políticas deben incluir el apoyo a la rehabilitación térmica de los edificios existentes y la certificación energética para promover el ahorro. La segunda medida sería el incentivo y el apoyo para sustituir tecnologías que cubran demanda térmica por alternativas electrificadas o renovables. En este ámbito además cobran gran importancia las políticas de protección a los hogares vulnerables, que ya existen, pero que pueden ser mejoradas (por ejemplo, con un bono energético integrado).

La industria necesitará un paquete coherente de medidas: la conexión con las políticas de innovación, las señales de precios de CO₂ como incentivo, la protección frente a terceros países sin precios del CO₂, los contratos por diferencias de carbono, la compra pública de materiales descarbonizados y el establecimiento de estándares de emisión.

Finalmente, todas estas políticas deben acompañarse de un proceso de concienciación y formación cívica, que ayude a aceptar los cambios y a amplificarlos desde la sociedad.

En resumen, pues, es imprescindible contar con un abanico amplio, pero profundo, de políticas que ayuden a cambiar tecnologías y comportamientos, a la velocidad requerida, para que podamos superar los retos y aprovechar las oportunidades que presenta una transición energética absolutamente necesaria.

Confiemos en que la sociedad española y sus representantes estén a la altura del reto que se presenta y logremos entre todos tener éxito en esta transformación imprescindible y beneficiosa para nuestro país.

Bibliografía

- Amending Directive (EU) 2018/2001 (2021a): Proposal for a Directive Of The European Parliament And Of The Council amending Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council, Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council and Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652, (2021). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0557>
- Amending Directive (EU) (2021b): Proposal for a Council Directive restructuring the Union framework for the taxation of energy products and electricity. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021PC0563>
- Amending Regulation (EU) (2021a): Proposal for a Regulation Of The European Parliament And Of The Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0562>
- Amending Regulation (EU) (2021b): Proposal for a Regulation Of The European Parliament And Of The Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0561>
- Amending Regulation (EU) (2021c): Proposal for a Regulation Of The European Parliament And Of The Council on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021PC0559>
- Amending Regulation (EU) (2021d): Proposal for a Regulation Of The European Parliament And Of The Council amending Regulation (EU) 2019/631 as regards strengthening the CO2 emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles in line with the Union's increased climate ambition. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021PC0556>
- Anadón, L. D., Baker, E. y Bosetti, V. (2017): "Integrating uncertainty into public energy research and development decisions". *Nature Energy*, 2(5), pp. 1-14. doi.org/10.1038/nenergy.2017.71
- ANFAC (2020): *Informe Anual 2020*. <https://anfac.com/wp-content/uploads/2021/07/Informe-Anual-ANFAC-2020.pdf>
- Barrella, R., Romero, J. C., Linares, J. I., Arenas, E., Asín, M. y Centeno, E. (2022): "The dark side of energy poverty: Who is underconsuming in Spain and why?" *Energy Research & Social Science*, 86, 102428. doi.org/10.1016/j.erss.2021.102428
- Berlin, D. I. W. (2017): *Project-Based Carbon Contracts: A Way to Finance Innovative Low-Carbon Investments*. https://www.diw.de/de/diw_01.c.575030.de/publikationen/diskussionspapiere/2017_1714/project-based_carbon_contracts__a_way_to_finance_innovative_low-carbon_investments.html
- Bieker, G. (2021): A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars. White paper. Berlín:

- International Council on Clean Transportation Europe. https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/12/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf
- BNEF (2021): *New Energy Outlook*. BloombergNEF. <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>
- CMNUCC (2016): *El Acuerdo de París*. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>
- Comillas, Universidad Pontificia (2020): *Energy Outlook 2020*. Madrid: Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad, Universidad Pontificia Comillas. <https://www.comillas.edu/catedrabp/informes-anuales>
- Comillas, Universidad Pontificia (2021): *Energy Outlook 2021*. Madrid: Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad, Universidad Pontificia Comillas. <https://www.comillas.edu/catedrabp/informes-anuales>
- Communication Commission (2019): Communication From The Commission To The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions The European Green Deal, Pub. L. No. 52019DC0640. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2>
- Communication (UE) (2020): Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions Forging a climate-resilient Europe—The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change (2021). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2021:82:FIN>
- Communication (UE) (2020): Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people (testimony of European Commission). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0562>
- Communication (UE) (2021): Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions Forging a climate-resilient Europe—The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2021:82:FIN>
- Danesin, A. y Linares, P. (2018): "The relevance of the local context for assessing the welfare effect of transport decarbonization policies. A study for 5 Spanish metropolitan areas". *Energy Policy*, 118, pp. 41-57. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.019>
- Doblinger, C., Surana, K., y Anadon, L. D. (2019): "Governments as partners: The role of alliances in U.S. cleantech startup innovation". *Research Policy*, 48(6), pp. 1458-1475.
- Economics for Energy (2020): *Estrategias para la descarbonización del transporte terrestre en España. Un análisis de escenarios*. Vigo: Economics for Energy. https://www.iit.comillas.edu/publicacion/informe/en/153/Estrategias_para_la_descarbonizaci%C3%B3n_del_transporte_terrestre_en_Espa%C3%B1a._Un_a%C3%A1lisis_de_escenarios.

- EEA (2022): *EEA greenhouse gases—Data viewer*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>
- Energy.gov. (2022): *Hubs*. Energy.Gov. <https://www.energy.gov/science-innovation/innovation/hubs>
- European Commission (2016): *Anonymous. Low-Emissions*. Climate Action – European Commission. https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en
- European Commission (2021): *CO₂ emission performance standards for cars and vans*. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en
- European Commission. (2022a): *EU economy and society to meet climate ambitions*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541
- European Commission. (2022b): *European Climate Pact*. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-pact_en
- European Commission (2022c): *National energy and climate plans*. https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-energy-and-climate-plans_en
- European Commission. (2022d): *Reducing emissions from aviation*. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation_en
- European Commission. (2022e): *Revision of the EU Emission Trading System*. https://ec.europa.eu/info/files/revision-eu-emission-trading-system_en
- GCP (2022): Global Carbon Project (GCP). <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>
- Gerres, T., Chaves Ávila, J. P., Llamas, P. L. y San Román, T. G. (2019): “A review of cross-sector decarbonisation potentials in the European energy intensive industry”. *Journal of Cleaner Production*, 210, pp. 585-601. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.036>
- Gerres, T., Chaves, J. P. y Linares, P. (2019): *El futuro de las materias primas en España*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas ITT. https://www.iit.comillas.edu/publicacion/informe/en/125/El_futuro_de_las_materias_primas_en_Espa%C3%B1a
- ICCT (2020): *Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles: Fuel consumption, electric driving, and CO₂ emissions*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/real-world-usage-of-plug-in-hybrid-electric-vehicles-fuel-consumption-electric-driving-and-co2-emissions/>
- IDAE (2020): *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*. <https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/plan-nacional-integrado-de-energia-y-clima-pniec-2021-2030>
- IEA (2020): *World Energy Outlook 2020 – Analysis*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- IEA (2021): *Spain 2021 – Analysis*. <https://www.iea.org/reports/spain-2021>
- IEA (2022): *Global SUV sales set another record in 2021, setting back efforts to reduce emissions – Analysis*. <https://www.iea.org/commentaries/>

- global-suv-sales-set-another-record-in-2021-setting-back-efforts-to-reduce-emissions
- International Maritime Organization (2018): Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Talanoa Dialogue: Adoption of the Initial Imo Strategy on Reduction of Ghg Emissions from Ships and Existing Imo Activity Related to Reducing Ghg Emissions in the Shipping Sector. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf
- International Monetary Fund (2022): *Spain: Selected Issues*. <https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2022/02/15/Spain-Selected-Issues-513181>
- IPCC (2001): *TAR Climate Change 2001: Synthesis Report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar3/syr/>
- IPCC (2014): *AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- IPCC (2020): *Special Report: Global Warming of 1.5°C*. <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-1/>
- IRENA (2021): *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway*. /Publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook. <https://irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook>
- Linares, P., Declercq, D., Labandeira, X., Romero, J.C. y Ramos, A. (2017): *Escenarios para el sector energético en España 2030-2050*. Informe Economics for Energy. https://eforenergy.org/docpublicaciones/informes/informe_2017.pdf
- Linares, P., Rodilla, P., Gómez, T., Rivier, M., Frías, P., Chaves, J. P., Sánchez, A., Gerres, T., Cossent, R., Olmos, L., Ramos, A., Rouco, L. y Martín, F. (2018): *El sector eléctrico español del futuro: Retos y políticas*. Madrid: ITT Universidad Pontificia Comillas. https://www.iit.comillas.edu/documentacion/IIT-18-153I/El_sector_el%c3%a9ctrico_espa%c3%b1ol_del_futuro:_retos_y_pol%c3%ad-ticas.pdf
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, Ö., Yu, R. y Zhou, B. (Eds.) (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Material Economics (2018): *The Circular Economy—A Powerful Force for Climate Mitigation*. Estocolmo: Material Economics. <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation-1>
- MITECO y Ecologistas en Acción (2019): *Zonas de Bajas Emisiones. Herramienta contra la contaminación y el calentamiento del planeta*. <https://www.miteco.gob.es/ca/ceneam/recursos/pag-web/zonas-bajas-emisiones.aspx>
- MITECO (2020a): El Gobierno aprueba la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, que marca la senda para alcanzar la neutralidad climática a 2050. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-la-estrategia-de-descarbonizaci%C3%B3n-a-largo-plazo-que-marca-la-senda-para-alcanzar-la-neutralidad-clim%C3%A1tica-a-2050/tcm:30-516141>

- MITECO (2020b): *Estrategia de Descarbonización a Largo plazo 2050*. https://www.miteco.gob.es/es/prensa/documentoelp_tcm30-516109.pdf
- MITECO (2020c): *Impacto económico, de empleo, social y sobre la salud pública del borrador actualizado del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*. https://www.miteco.gob.es/images/es/pniec_2021-2030_informesocioeconomico_borradoractualizado_tcm30-506495.pdf
- MITECO (2021a): En 2020 descendieron las emisiones de gases de efecto invernadero y de los principales contaminantes atmosféricos, excepto el amoníaco. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/en-2020-descendieron-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-y-de-los-principales-contaminantes-atmosf%C3%A9ricos-excepto-el-amoniaco/tcm:30-534540>
- MITECO (2021b): *Ley De Cambio Climático y Transición Energética*. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2021-8447>
- MITECO (2022a): *Informe Resumen: Emisiones de gases de efecto invernadero, serie 1990-2020. Inventario nacional de emisiones a la atmósfera*. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-resumen_inventario_gei-ed_2022_tcm30-534394.pdf
- MITECO (2022b): El Gobierno aprueba la Hoja de Ruta de la eólica marina y las energías del mar para que España sea el referente europeo de estas tecnologías. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-la-hoja-de-ruta-de-la-e%C3%B3lica-marina-y-las-energ%C3%ADas-del-mar-para-que-espa%C3%B1a-sea-el-referente-europeo-de-estas-tecnolog%C3%ADas/tcm:30-533937>
- MITECO (2022c): El MITECO saca a información pública la propuesta de Hoja de Ruta del Biogás. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-miteco-saca-a-informaci%C3%B3n-p%C3%BAblica-la-propuesta-de-hoja-de-ruta-del-biog%C3%A1s-/tcm:30-529298>
- MITECO (2022d): Más de 1.000 gasolineras deberán ofrecer servicios de recarga para vehículos eléctricos. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/m%C3%A1s-de-1.000-gasolineras-deber%C3%A1n-ofrecer-servicios-de-recarga-para-veh%C3%ADculos-el%C3%A9ctricos/tcm:30-533484>
- MITECO (2022e): Primera subasta para el otorgamiento del régimen económico de energías renovables. <https://energia.gob.es/electricidad/energias-renovables/convocatorias/Paginas/1subasta-otorgamiento-regimen-economico.aspxruta>
- MITECO (2022f): *Sectores difusos. Situación actual y objetivos*. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/definicion-difusos.aspx>
- OTLE (2021): *Informe Anual 2020*. Madrid: Observatorio del Transporte y la Logística en España. https://observatoriotransporte.mitma.es/recursos/otle/informe_otle_2019_1.pdf
- Pisani-Ferry, J. (2021): *Climate policy is macroeconomic policy, and the implications will be significant*. Policy Brief 21-20. Washington: Peterson Institute for International Economics

- Pollitt, H., Neuhoff, K. y Lin, X. (2020): "The impact of implementing a consumption charge on carbon-intensive materials in Europe". *Climate Policy*, 20(sup1), pp. 74-89. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1605969>
- Proposal (2021a): Proposal for a Directive Of The European Parliament And Of The Council on energy efficiency (recast), (2021). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0558>
- Proposal (2021 b): Proposal for a Regulation Of The European Parliament And Of The Council establishing a carbon border adjustment mechanism). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021PC0564#>
- Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'), 243 OJ L (2021). <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj/eng>
- Reuters (2021): Francia avanza para prohibir los vuelos internos que se puedan hacer en tren en menos de dos horas y media. *El País*. <https://elpais.com/economia/2021-04-12/francia-avanza-para-prohibir-los-vuelos-domesticos-que-se-puedan-realizar-en-tren-en-menos-de-dos-horas-y-media.html>
- Roberts, P. y W. Haussner, (2021): "Including Consumption in Emissions Trading—Economic and Legal Considerations". *The Journal of World Energy Law & Business*, 14(4), pp. 291-292. <https://doi.org/10.1093/jwelb/jwab025>
- Robinson, D., Linares, P., López, X. y Rodrigues, R. (2019): "Fiscal policy for decarbonisation of energy in Europe, with a focus on urban transport: Case study and proposal for Spain", en M. Villar-Ezcurra (Ed.), *Environmental Fiscal Challenges for Cities and Transport*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781789904185>
- Romero Mora, J. C., Barrella, R., Centeno Hernández, E. y Mariño Galindo, L. (2022): *Informe de Indicadores de Pobreza Energética en España 2020*. Madrid: Cátedra de Energía y Pobreza. Universidad Pontificia Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/65128>
- Shell (2021): *The Energy Transformation Scenarios*. <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/the-energy-transformation-scenarios.html#iframe=L3dlYmFwcHMvU2NlbnFyaW9zX2xvbmdfaG9yaXpvaWVnMv>
- UNFCCC (2020): *Climate Finance in the negotiations*. <https://unfccc.int/topics/climate-finance/the-big-picture/climate-finance-in-the-negotiations>
- UNFCCC (2021): *Cooperative Implementation*. <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/cooperative-implementation>
- UNFCCC (2022a): *COP26 Outcomes: Market mechanisms and non-market approaches (Article 6)*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-glasgow-climate-pact/cop26-outcomes-market-mechanisms-and-non-market-approaches-article-6>
- UNFCCC (2022b): *Nationally Determined Contributions (NDCs)*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs>

- UNFCCC (2022c): *Warsaw International Mechanism for Loss and Damage associated with Climate Change Impacts (WIM)*. <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/workstreams/loss-and-damage/warsaw-international-mechanism>
- White paper on transport (2011): *Roadmap to a single European transport area: towards a competitive and resource efficient transport system*. Bruselas: Publications Office of European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2832/30955>