

BORRADOR

ESTRATEGIA DE DESCARBONIZACIÓN A LARGO PLAZO 2050

Estrategia a largo plazo para una economía
española, moderna, competitiva
y climáticamente neutra en 2050

ANEXOS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

MARCO ESTRATÉGICO DE ENERGÍA Y CLIMA

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| ► ANEXO A. SUMIDEROS NATURALES | 5 |
| A.1 SITUACIÓN ACTUAL | 6 |
| A.2 ESCENARIO TENDENCIAL | 8 |
| A.2.1 TENDENCIAS EN USO DE LA TIERRA Y CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA | 8 |
| A.2.2 FACTORES CON INFLUENCIA EN LAS EMISIONES Y ABSORCIONES | 9 |
| A.2.3 PROYECCIONES A 2050 | 11 |
| A.3 ESCENARIO DE NEUTRALIDAD CLIMÁTICA | 12 |
| A.3.1 OPORTUNIDADES DE MEJORA DE SUMIDEROS | 12 |
| A.3.2 PROYECCIONES A 2050 | 14 |
| ► ANEXO B. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO | 16 |
| B.1 EL CAMBIO CLIMÁTICO, UNA REALIDAD FÍSICA EN ESPAÑA | 18 |
| B.1.1 PROYECCIONES CLIMÁTICAS REGIONALIZADAS | 18 |
| B.1.2 COMPLEMENTARIEDAD ADAPTACIÓN-MITIGACIÓN | 19 |
| B.2 POLÍTICA EN MATERIA DE ADAPTACIÓN | 20 |
| B.2.1 PRINCIPIOS GENERALES DE LA ACCIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE ADAPTACIÓN | 21 |
| B.2.2 EJES DE TRABAJO EN MATERIA DE ADAPTACIÓN | 23 |
| B.2.3 HERRAMIENTAS TRANSVERSALES | 26 |
| B.2.4 LÍNEAS DE TRABAJO SECTORIALES | 23 |
| B.2.5 PROTECCIÓN DE LA SALUD | 36 |
| B.3 IMPLICACIONES DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL EXTERIOR | 38 |
| B.4 CONCLUSIONES | 39 |
| ► ANEXO C. DESCARBONIZACIÓN SECTORIAL | 40 |
| C.1 SECTOR ELÉCTRICO | 41 |
| C.1.1 SITUACIÓN ACTUAL | 42 |
| C.1.2 HORIZONTE 2030 | 43 |
| C.1.3 HORIZONTE 2050 | 44 |
| C.1.4 RETOS Y OPORTUNIDADES | 49 |
| C.2 CONCLUSIONES | 51 |
| C.2.1 SITUACIÓN ACTUAL | 51 |
| C.2.2 HORIZONTE 2030 | 54 |
| C.2.3 HORIZONTE 2050 | 54 |
| C.2.4 RETOS Y OPORTUNIDADES | 62 |
| C.3 EDIFICACIÓN SOSTENIBLE | 65 |
| C.3.1 SITUACIÓN ACTUAL | 65 |
| C.3.2 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES Y VÍAS PARA LA DESCARBONIZACIÓN | 70 |
| C.3.3 HORIZONTE 2030 | 71 |

| | |
|--|------------|
| C.3.4 HORIZONTE 2050 | 72 |
| C.3.5 RETOS Y OPORTUNIDADES | 76 |
| C.4 INDUSTRIA SOSTENIBLE Y COMPETITIVA | 77 |
| C.4.1 SITUACIÓN ACTUAL | 77 |
| C.4.2 HORIZONTE 2050 | 79 |
| C.4.3 RETOS Y OPORTUNIDADES | 85 |
| C.4.4 INSTRUMENTOS ECONÓMICOS PARA GARANTIZAR LA COMPETITIVIDAD DE LA INDUSTRIA NACIONAL Y EUROPEA | 88 |
| C.5 SECTORES DIFUSOS NO ENERGÉTICOS | 89 |
| C.5.1 SECTOR AGROPECUARIO | 90 |
| C.5.2 GESTIÓN DE RESIDUOS | 96 |
| C.5.3 GASES FLUORADOS | 102 |
| ► ANEXO D. ANÁLISIS DE IMPACTO ECONÓMICO, EMPLEO Y SOBRE LA SALUD | 107 |
| D.1 INTRODUCCIÓN | 108 |
| D.2 ESCENARIOS ANALIZADOS | 109 |
| D.3 METODOLOGÍA | 111 |
| D.4 INVERSIONES | 112 |
| D.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIOECONÓMICO | 113 |
| D.5.1 IMPACTO EN EL SISTEMA ENERGÉTICO | 113 |
| D.5.2 IMPACTOS SOBRE EL PIB Y EL EMPLEO | 115 |
| D.5.3 IMPACTOS EN LA SALUD | 118 |
| D.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD | 120 |
| D.7 CONCLUSIONES | 122 |
| D.8 MODELOS UTILIZADOS | 123 |
| D.8.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DENIO | 123 |
| D.8.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO TM5-FASST | 124 |
| D.9 BIBLIOGRAFÍA DEL ANEXO D | 125 |
| ► ANEXO E. ESCENARIO PROPUESTO PARA LA NEUTRALIDAD CLIMÁTICA | 126 |
| E.1 INTRODUCCIÓN | 127 |
| E.2 RELACIÓN ENTRE EL PNIEC Y LA ELP | 128 |
| E.3 MODELOS EMPLEADOS EN LA ESTRATEGIA A LARGO PLAZO | 129 |
| E.4 HIPÓTESIS | 129 |
| E.4.1 PRODUCTO INTERIOR BRUTO Y POBLACIÓN | 130 |
| E.4.2 NÚMERO DE HOGARES | 130 |
| E.4.3 PRECIOS INTERNACIONALES DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y COSTES DE DERECHOS DE EMISIÓN | 132 |

| | |
|--|-----|
| E.4.4 EVOLUCIÓN DE LOS COSTES TECNOLÓGICOS | 133 |
| E.4.5 DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA DESCARBONIZACIÓN | 133 |
| E.5 ESCENARIO DE NEUTRALIDAD CLIMÁTICA | 135 |
| E.5.1 PROYECCIONES DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) | 135 |
| E.5.2 ENERGÍA PRIMARIA | 136 |
| E.5.3 ENERGÍA FINAL | 138 |
| E.5.4 ENERGÍA ELÉCTRICA | 142 |
| E.5.5 ENERGÍAS RENOVABLES | 144 |
| E.5.6 EFICIENCIA ENERGÉTICA | 147 |
| E.5.7 ELECTRIFICACIÓN DE LA ECONOMÍA | 147 |
| E.5.8 SEGURIDAD ENERGÉTICA | 148 |
| ▶ ANEXO F. PROCESO PARTICIPATIVO | 149 |
| F.1 RESULTADOS | 152 |
| ▶ ANEXO G. GLOSARIO DE TÉRMINOS | 161 |
| ▶ ÍNDICE DE FIGURAS | 168 |
| ▶ ÍNDICE DE TABLAS | 172 |

ANEXO A

SUMIDEROS
NATURALES

A.1 SITUACIÓN ACTUAL

El sector del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (en lo sucesivo, «sector LULUCF», por sus siglas en inglés) cubre las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con las fuentes y las absorciones de CO₂ por los sumideros. Se refieren a las categorías de uso de la tierra en las que se clasifican las tierras gestionadas, que cubren toda la superficie terrestre nacional: tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras. También se incluye la contabilidad correspondiente a productos madereros y emisiones indirectas de N₂O.

El sector LULUCF es en la actualidad un sumidero neto, con un cómputo global de -38,1 MtCO₂eq en 2018 (equivalente a la absorción de aproximadamente el 11,4% de las emisiones brutas en España para ese mismo año).

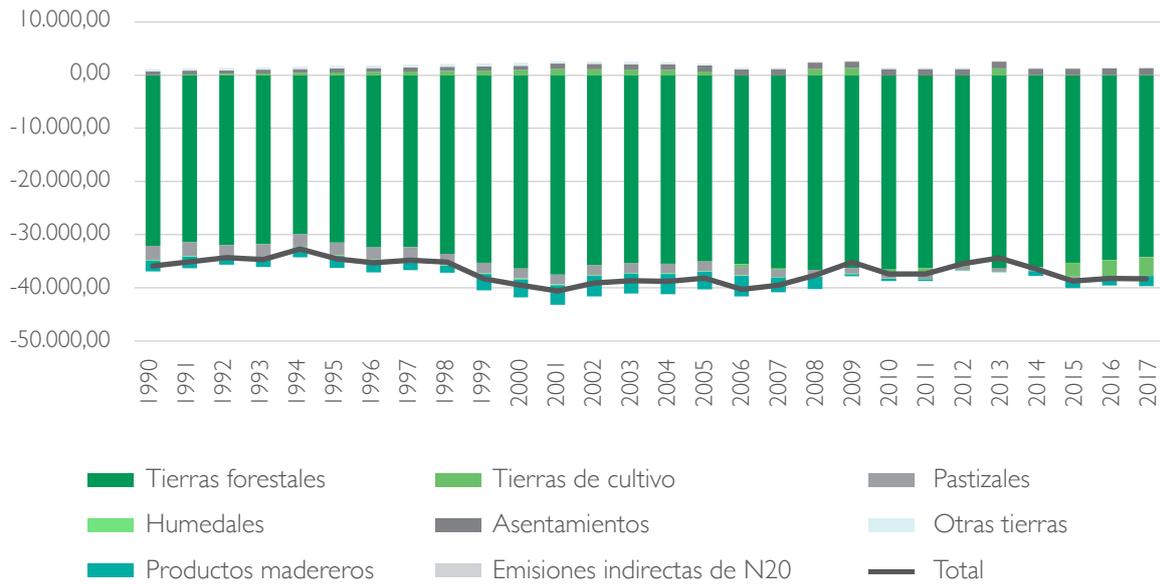
TABLA A.1 Resumen de los principales datos del sector LULUCF

| Categoría | Superficie (ha) | % superficie sobre total | Emisiones/ absorciones (ktCO ₂ eq) |
|---------------------------------------|-------------------|--------------------------|---|
| Tierras forestales | 15.688.006 | 31% | -33.435 |
| Tierras de cultivo | 20.015.271 | 40% | -3.645 |
| Pastizales | 11.904.113 | 24% | 57 |
| Humedales | 419.884 | 1% | 54 |
| Asentamientos | 1.465.267 | 3% | 1.292 |
| Otras tierras | 1.158.489 | 2% | 24 |
| Productos madereros | - | - | -2.448 |
| Emisiones indirectas N ₂ O | - | - | 5 |
| Total LULUCF | 50.651.030 | 100% | -38.096 |

Fuente: *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2020. MITECO*

Atendiendo a la evolución del sector, se ha pasado de una absorción neta de 35,6 MtCO₂eq en 1990 a 38,1 MtCO₂eq en 2018, lo que supone un incremento de aproximadamente el 7%, en gran medida por las reforestaciones llevadas a cabo hasta el año 2005, así como por las conversiones de cultivos agrícolas herbáceos a leñosos (frutales cítricos, frutales no cítricos, olivar, viñedo y otros leñosos).

FIGURA A.1 Evolución de las emisiones y absorciones LULUCF (ktCO₂eq)



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

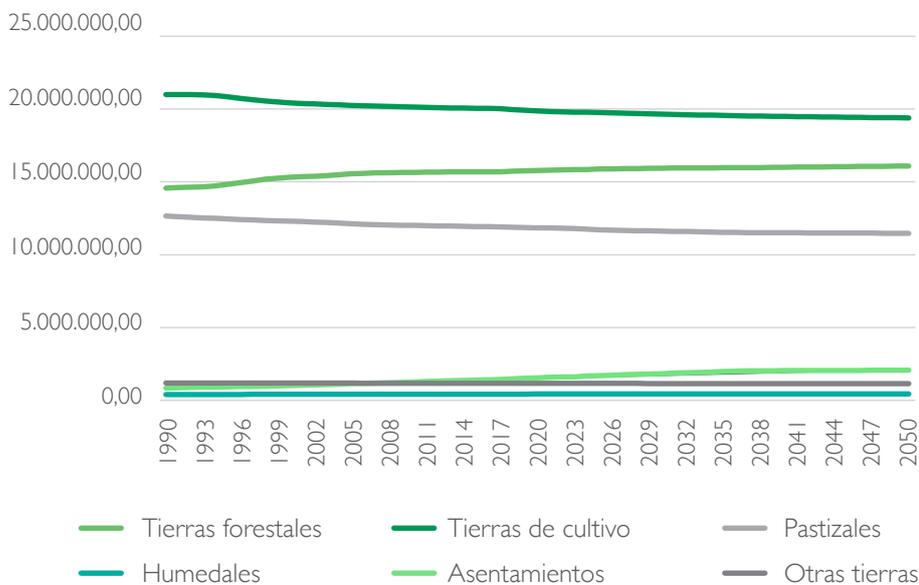
La tendencia de las absorciones viene determinada, en gran parte, por el cambio de las existencias de carbono de la biomasa viva, que a su vez está relacionada con la superficie acumulada en la categoría de uso de la tierra y con la edad de los árboles que crecen en ella.

A.2 ESCENARIO TENDENCIAL

A.2.1 Tendencias en uso de la tierra y cambios de uso de la tierra

Teniendo en cuenta los datos históricos de transiciones entre categorías de usos de suelo, los tiempos de transición considerados, y las políticas y medidas existentes, se prevé un ligero aumento de la superficie de tierras forestales, que alcanzarían 16,1 Mha en 2050 (frente a las 15,7 Mha actuales), mientras que las tierras de cultivo y pastizales descenderían hasta 19,4 Mha en 2050 (frente a los 20,0 Mha actuales) y 11,5 Mha en 2050 (frente a los 11,9 Mha actuales), respectivamente. No obstante, la categoría en la que se prevé una mayor diferencia relativa respecto a la situación actual es en asentamientos, que ocuparían más de 2 Mha, aumentando su superficie respecto a la actualidad en más de 500.000 ha.

FIGURA A.2 Evolución de las emisiones y absorciones LULUCF (ktCO₂eq)



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

En estas proyecciones de cambios de uso de suelo se han contemplado las siguientes hipótesis:

- ▶ Las tierras forestales se mantienen estables. Esta hipótesis es conservadora ya que, tras décadas de conversión de otras categorías en tierras forestales, en la actualidad apenas hay cambios de uso de suelo en este sentido.
- ▶ Las conversiones de tierras agrícolas y pastizales a otras categorías se estiman en unos niveles medios de 1.000 ha/año (frente a 25.000 ha/año de media 1990-2016), considerando una hipótesis conservadora con base en las políticas agrícolas nacionales. Las actividades agrícolas siguen teniendo una gran importancia social, territorial y económica que inducen a plantear un mantenimiento de la superficie agrícola.
- ▶ Las categorías de humedales y otras tierras se mantienen estables.

A.2.2 Factores con influencia en las emisiones y absorciones

En el sector LULUCF **domina la influencia de las absorciones en la categoría de tierras forestales**. Los bosques españoles son un ejemplo de protección y restauración del patrimonio forestal, recuperándose en área y aumentando el almacenamiento de CO₂ de forma continua desde el siglo XIX, tras un periodo histórico de deforestación causada por diferentes circunstancias socioeconómicas.

Estos bosques han mostrado ser un sumidero de carbono persistente, proyectado para continuar durante décadas. No obstante, se observan ya señales de saturación, que están provocando un declive en las absorciones totales. Este declive se ha proyectado para el periodo 2018-2050 considerando las siguientes causas:

Impactos del cambio climático en el sector forestal nacional

Los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas forestales en España son ya evidentes en muchos aspectos: cambios en la distribución de las formaciones forestales arbóreas y supra-arbóreas, modificaciones estructurales y funcionales, alteraciones en determinados parámetros de la sanidad forestal, mayor vulnerabilidad a eventos extremos meteorológicos e incendios, modificación en el flujo de bienes y servicios ambientales que proporcionan los bosques, etc. Los impactos que se proyectan, de acuerdo con los escenarios climáticos futuros, señalan una intensificación progresiva de los mismos a medida que avance el siglo XXI (ver ANEXO B. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO).

El análisis de las proyecciones de los factores climáticos limitantes que determinan la distribución territorial de las especies vegetales en el territorio nacional predice una reducción general de la superficie climáticamente adecuada para casi todos los taxones analizados a lo largo de este siglo¹. Esta reducción es especialmente preocupante en el caso de formaciones forestales como el pinsapo (*Abies pinsapo*), el abeto común (*Abies alba*), la encina (*Quercus ilex subsp. rotundifolia*), el roble albar (*Quercus petraea*) y el alcornoque (*Quercus suber*), y afecta de forma significativa al 20% de las especies forestales².

Gestión forestal

La gestión sostenible de los bosques es imprescindible para garantizar la persistencia de los mismos. Existen diversos instrumentos como los proyectos de ordenación, que permiten a los propietarios planificar y programar adecuadamente los trabajos a realizar en sus montes, para que se pueda obtener una rentabilidad de los mismos a la vez que se garantiza la regeneración.

Actualmente, la tasa de superficie ordenada (es decir, la que cuenta con algún tipo de instrumento legal que garantice su gestión forestal) respecto al total forestal es del 17%³. La superficie forestal no gestionada supone una pérdida de oportunidades en materia de aprovechamiento de productos madereros, de defensa contra incendios forestales y del manejo enfocado a las especies más adaptadas a las previsiones de cambio climático.

Todos estos aspectos tendrían influencia directa en el balance de absorciones y emisiones de CO₂eq reflejado en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

¹ Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. I. Flora y vegetación (MARM), 2011.

² Los resultados completos están disponibles en: <http://ide.unex.es/conocimiento/index.php?%2Farticle%2FAA-00240%2F32%2F06-Vegetacin-Vegetation%2F02-Europa-Europe%2F724-Espaa-Spain%2FDistribucin-potencial-de-especies-forestales-en-Espaa-peninsular-presente-y-futura.html>

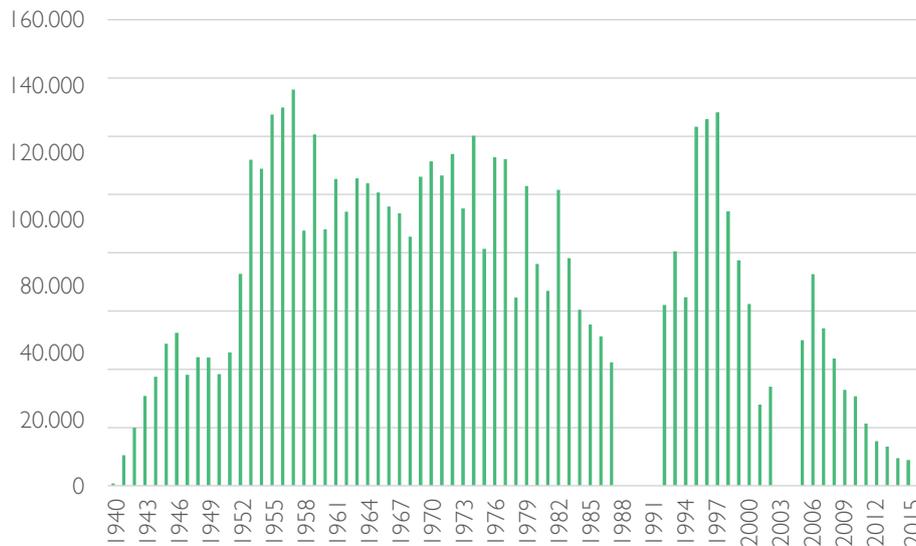
³ Fuente: Anuarios de estadística forestal española (MAPA).

Repoblaciones forestales

La promulgación de la Ley de 24 de junio de 1908 de Conservación de Montes y Repoblación Forestal, también llamada de montes protectores, la creación de las Confederaciones Hidrográficas en 1926, la elaboración del Plan Nacional de Repoblaciones de los Montes en 1926, la Ley de 9 de octubre de 1935 creando el Patrimonio Forestal del Estado y la elaboración en 1939 del Plan Nacional para la Repoblación Forestal de España, son hitos fundamentales en el proceso repoblador de los montes, que alcanzó su cenit en el período 1940-1980, durante el cual se reforestaron 3 Mha.

No obstante, tras los diversos programas de forestación de tierras agrícolas impulsados por la Política Agraria Común desde mediados de la década de 1990, las cifras de repoblaciones forestales han disminuido progresivamente desde comienzos del siglo XXI. En consecuencia, se prevé una rebaja de la aportación de absorciones procedentes de tierras forestales en transición a partir de mediados de la década de 2020 (en periodo de transición actualmente).

FIGURA A.3 Repoblaciones forestales en el periodo 1940 – 2016 (unidades en ha)



* Para los periodos 1988-1991 y 2003-2004 no se dispone de información completa. Fuente: MAPA

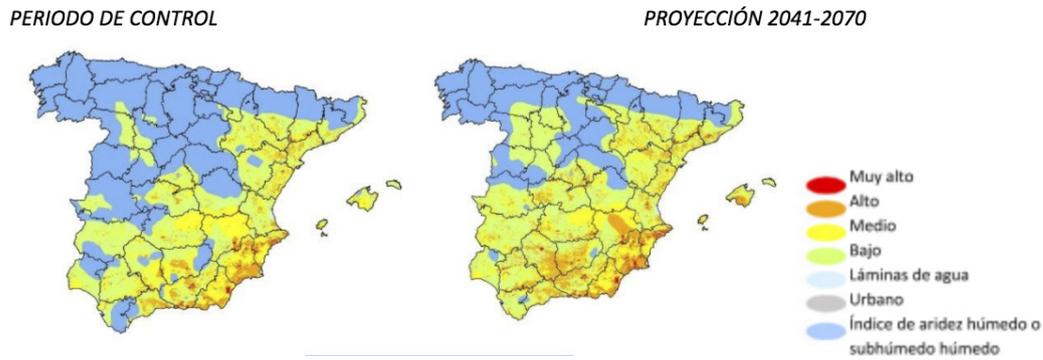
Riesgo de desertificación

La desertificación constituye un proceso complejo, resultado de múltiples factores. La combinación de elementos y procesos como la aridez, la sequía, la erosión, los incendios forestales y la sobreexplotación de acuíferos, entre otros, da origen a los distintos paisajes o escenarios típicos de la desertificación en nuestro territorio. Por otro lado, las proyecciones sobre el cambio climático en España apuntan hacia una creciente aridez y un aumento de las temperaturas, es decir, unos escenarios más propensos a los procesos de desertificación (ver ANEXO B. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO).

La actualización de los mapas de riesgo de desertificación⁴ muestra una proyección de incremento, debido principalmente a la evolución de la aridez y la erosión por efecto del cambio climático. Aun cuando no se produjeran incrementos cuantitativamente importantes de las pérdidas de suelo, el incremento previsto de la aridez apunta a un aumento del riesgo de desertificación.

⁴ Impactos del cambio climático en los procesos de desertificación en España. Disponible en <https://www.adaptecca.es/recursos/busador/impactos-del-cambio-climatico-en-los-procesos-de-desertificacion-en-espana>

FIGURA A.4 Cambios en el mapa de riesgo de desertificación



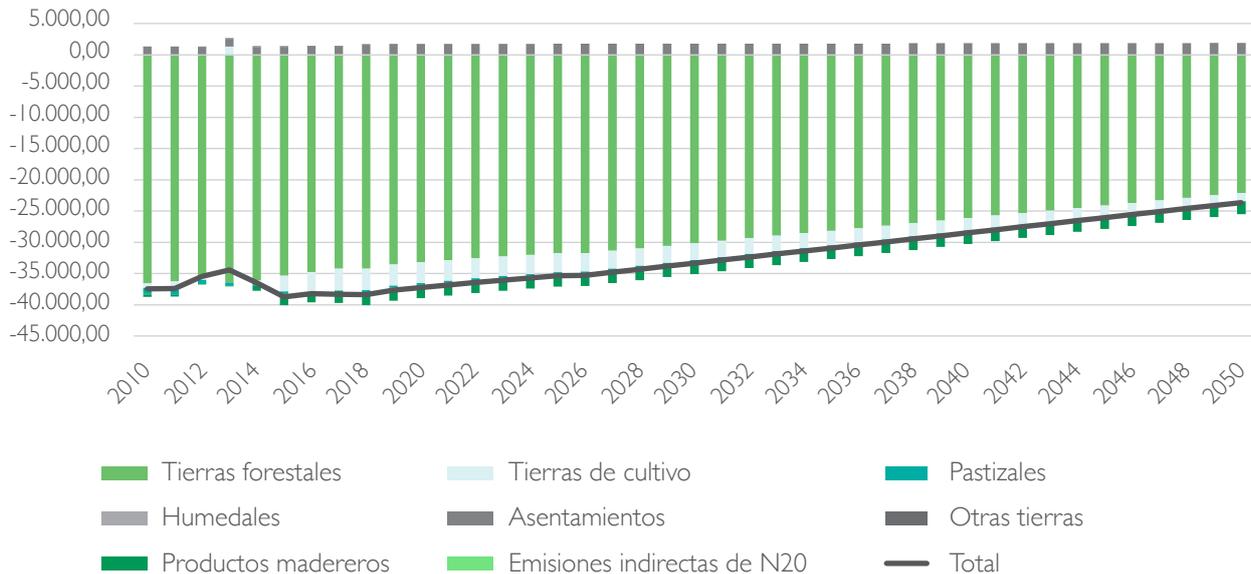
Fuente: MAPA/MITECO, 2020

Los suelos expuestos a la desertificación como resultado de la combinación de estas proyecciones y una ordenación inadecuada de las tierras (o ausencia de ordenación) podrían volverse estériles, con consecuencias negativas para la contabilidad en el sector LULUCF, pero sobre todo con evidentes impactos ambientales y socioeconómicos.

A.2.3 Proyecciones a 2050

Teniendo en cuenta lo reseñado en los puntos anteriores (tendencias en el uso de la tierra, cambios de uso de la tierra y factores con influencia en las emisiones y absorciones del sector LULUCF), se estima un escenario tendencial en el que las absorciones totales sean **en 2050 de 23,6 MtCO₂eq** frente a las **38,1 MtCO₂eq de 2018**, lo que supone un decremento del **38,4%**.

FIGURA A.5 Proyección de emisiones y absorciones LULUCF, Escenario Tendencial (ktCO₂eq)



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

A.3 ESCENARIO DE NEUTRALIDAD CLIMÁTICA

A.3.1 Oportunidades de mejora de sumideros

El manejo de las categorías de tierra que comprenden el sector LULUCF, especialmente de las tierras forestales es, en comparación a otros sectores y tecnologías de absorciones de gases de efecto invernadero, relativamente sencillo de gestionar con políticas y medidas dirigidas a aumentar las absorciones netas, generando adicionalmente cobeneficios ambientales y socioeconómicos.

A tal efecto, se identifican las siguientes medidas y oportunidades para mejorar los sumideros naturales:

Creación de superficies forestadas arboladas

Los bosques desempeñan un papel central en el ciclo global del carbono, pues lo capturan de la atmósfera a medida que crecen y lo almacenan en sus tejidos. **Debido a su enorme biomasa, los bosques constituyen uno de los más grandes sumideros de carbono.** Asimismo, generan bienes y servicios de gran importancia para la sociedad (biodiversidad, protección del ciclo hidrológico, empleo, productos...).

Atendiendo al análisis llevado a cabo en la planificación del sector forestal⁵ se estima que todavía hay potencial de tierra susceptible de reforestación en España. Por ello, en el escenario objetivo del sector LULUCF (que es el Escenario de Neutralidad Climática) se plantea una tasa de **reforestación de 20.000 ha/año** en el periodo 2020-2050 (incremento de 0,6 Mha en todo el periodo, o un aumento de aproximadamente el 4% respecto a la superficie de tierras forestales proyectada en 2050 en el escenario tendencial), incrementando el sumidero forestal en **7,04 MtCO₂eq de absorciones netas en 2050** respecto al tendencial.

Uno de los objetivos de la gestión sostenible en bosques desatendidos es la reducción de la competencia, mejora del vigor individual de los árboles, regulación de la composición específica, anticipación y maximización de la producción a final del turno, prevención de daños bióticos y abióticos, y aumento del valor y de las dimensiones de los productos aprovechados.

Fomento de la gestión forestal sostenible

La introducción de gestión sostenible en bosques desatendidos tiene entre sus objetivos la reducción de la competencia, mejora del vigor individual de los árboles, regulación de la composición específica, anticipación y maximización de la producción a final del turno, prevención de daños bióticos y abióticos, y aumento del valor y de las dimensiones de los productos aprovechados. Todos estos efectos tienen un impacto positivo en las absorciones de CO₂.

Teniendo en cuenta el potencial de mejora en la gestión de la superficie forestal existente (aproximadamente 12 Mha de superficie forestal arbolada sin plan de gestión), se establece un objetivo de **ordenación de 100.000 ha/año, llegando a 3 Mha adicionales ordenados en 2050.** Considerando el efecto combinado de esta medida por mayor crecimiento a futuro, la reducción del riesgo de incendios y el aprovechamiento de productos forestales, se estima un potencial de **4,34 MtCO₂eq de absorciones netas en 2050** respecto al escenario tendencial.

⁵ Plan Forestal español. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/planificacion-forestal/politica-forestal-en-espana/pfe_plan_forestal_esp.aspx

Restauración de humedales

Durante el siglo XX se estima que se destruyó el 60% de la superficie original de los humedales en territorio español (alrededor de 1 Mha), principalmente por cambios de usos del suelo (conversión de humedales a cultivos agrícolas). Además, muchos de los humedales que han permanecido presentan alteraciones severas debido a, entre otros factores, extracciones de sal, alteraciones del régimen hidrológico e hidroperiodos, alteraciones en régimen de sedimentación, drenajes, pastoreo excesivo, enriquecimiento de nutrientes por vertidos, etc.

Existen numerosos estudios a nivel europeo y nacional⁶ que relacionan los balances anuales de carbono con los tipos, subtipos y estados de conservación de los humedales. Teniendo en cuenta el potencial de restauración de los mismos, es factible establecer un potencial de **restauración de 50.000 ha hasta 2050**, obteniendo unas **absorciones netas de 1 MtCO₂eq en 2050** respecto al escenario tendencial.

Fomento de sistemas agroforestales y regeneración de dehesas

Los sistemas agroforestales integran plantas leñosas en los sistemas especializados de cultivo y ganadería, lo que puede traducirse en beneficios ambientales y económicos concretos a nivel de la explotación. En España, **las dehesas**, que pueden considerarse un caso particular de agroforestería, constituyen en la actualidad uno de los **principales activos medioambientales y productivos**, combinando el pastoreo con el mantenimiento del arbolado forestal, el cual debe tener, por definición, una espesura incompleta.

El potencial de esta medida deriva, por un lado, de la superficie agrícola que puede incorporar plantas leñosas desde aprovechamientos puramente herbáceos, y, por otro lado, a la conservación y mejora de las dehesas fomentando su densificación y asegurando su regeneración. Se trata de hacer frente al problema de la perpetuación de estos sistemas debido a causas como el sobrepastoreo, el acortamiento de los turnos, el excesivo aprovechamiento de leñas, los incendios forestales o la incidencia, en los últimos años, de la podredumbre radical y otros factores que provocan decaimientos que coloquialmente se encuadran bajo la denominación de seca.

Se estima que el potencial de la agroforestería es enorme, si bien se proponen cifras conservadoras: **conversión de 0,5 Mha de cultivos herbáceos a sistemas agroforestales y densificación de 0,5 Mha de dehesas a 2050**, con un potencial de **absorciones netas de 0,54 MtCO₂eq a 2050** respecto al escenario tendencial.

Es importante reseñar que el depósito de carbono orgánico del suelo en sistemas agroforestales puede verse incrementado entre un 20%-80%. No obstante, aún no hay metodología robusta para reflejar estos incrementos en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, por lo que no se ha tenido en cuenta este depósito.

A pesar de tener un potencial limitado de mitigación, esta medida supone un paso importante para promover mecanismos efectivos de adaptación al cambio climático y otras sinergias ambientales y socioeconómicas.

Aumento del carbono orgánico de los suelos

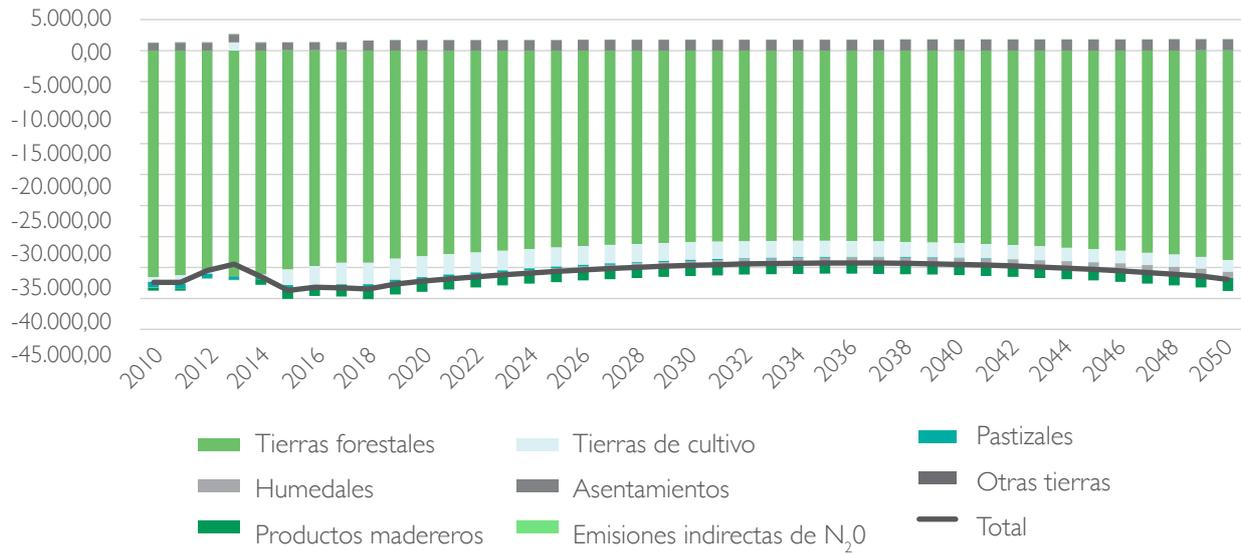
Los suelos en España presentan en general un bajo contenido de carbono orgánico en las zonas agrícolas, siendo susceptibles de aumentar el mismo a través de prácticas agrícolas dirigidas a ese fin. Incentivos como las denominadas 4x1000 han explorado esas alternativas, encontrándose su aplicación en fases incipientes que habrá que incentivar.

⁶ Estudios de Morant, Camacho et al., Inland Waters, Brigham et. Al.

A.3.2 Proyecciones a 2050

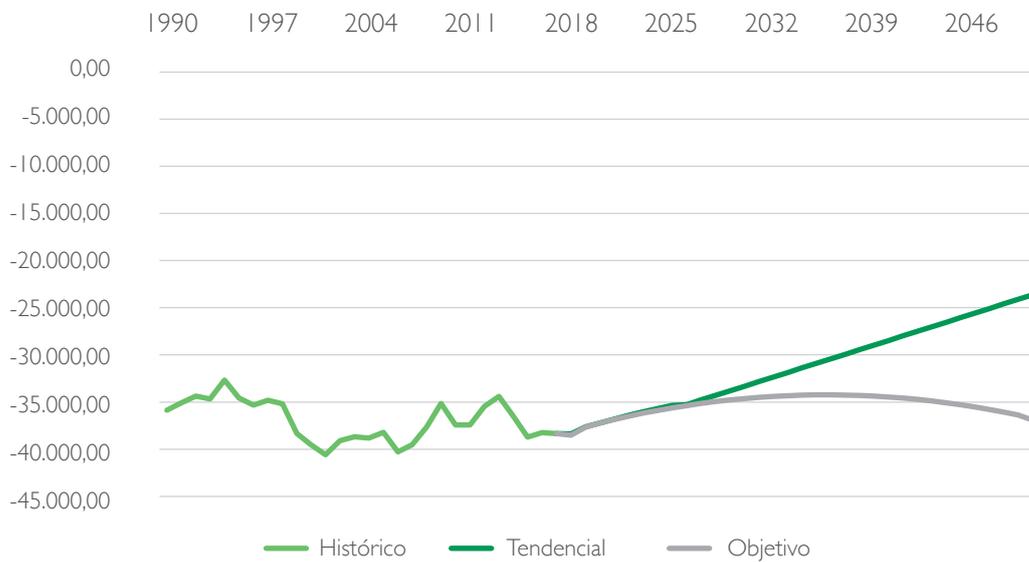
Teniendo en cuenta las medidas propuestas, se estima un potencial de sumidero para el sector LULUCF de **36,9 MtCO₂eq** en 2050, frente a las 23,6 MtCO₂eq del escenario tendencial.

FIGURA A.6 Proyección de emisiones y absorciones, Escenario de Neutralidad Climática (ktCO₂eq)



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

FIGURA A.7 Comparación de emisiones y absorciones LULUCF en escenarios objetivo y tendencial



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

La consecución del nivel de absorciones calculado en el Escenario de Neutralidad Climática requiere cambios fundamentales y la implicación y participación de todos los actores. Algunas de las medidas, como la gestión forestal, requieren tiempo y previsión para generar ahorros de emisiones y mantener las funciones ecológicas. Los puntos clave son:

- ▶ Desarrollo de instrumentos para equilibrar la renta de los propietarios de tierras que generan absorciones.
- ▶ Fomento de las **actividades de investigación, desarrollo e innovación** enfocadas a la mejora del conocimiento de los ecosistemas y del funcionamiento de los almacenes de CO₂.
- ▶ **Transmisión del conocimiento**, aplicación de mejores prácticas y asociacionismo.
- ▶ **Cambio de comportamiento** entre los consumidores y la cadena de suministro, y fomento del uso de productos forestales.

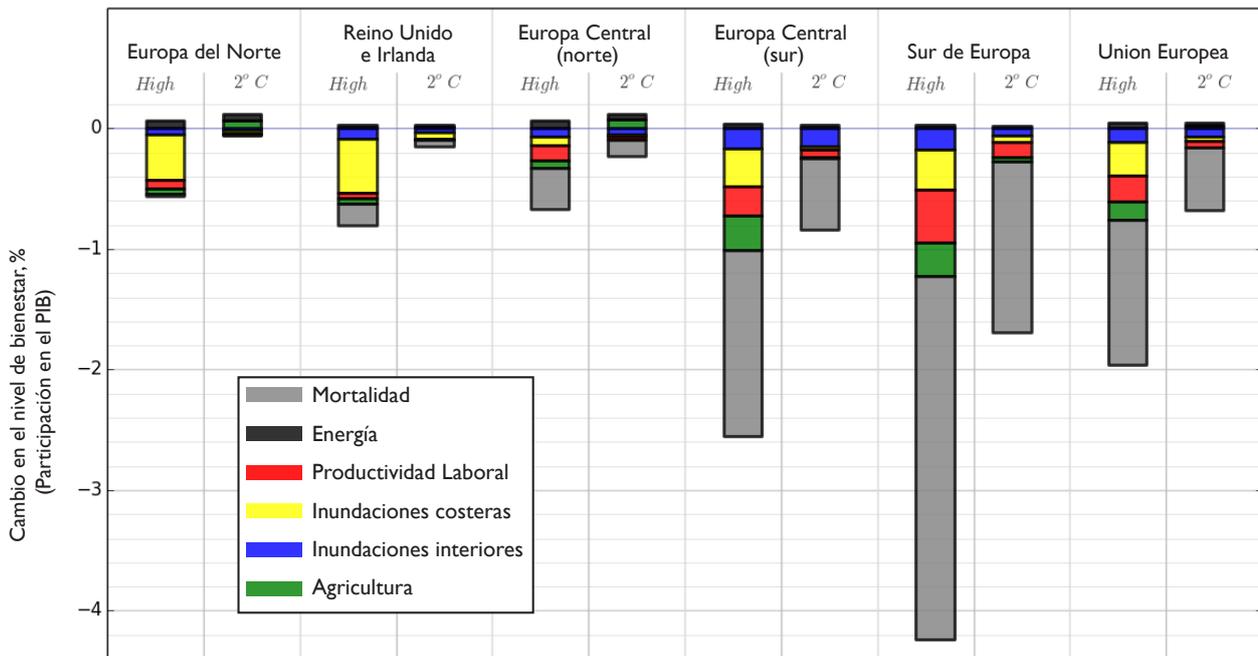
El cambio climático es ya una realidad que provoca impactos y plantea riesgos a los que es necesario dar respuesta. A pesar de los esfuerzos previstos para reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero descritos en esta estrategia, la crisis del clima seguirá progresando debido al efecto de los gases de efecto invernadero ya emitidos. Es crucial, en consecuencia, hacer de la adaptación un eje estratégico de las políticas públicas.

Las denominadas genéricamente “respuestas de adaptación”, se orientan a evitar o limitar los daños presentes y futuros derivados del cambio climático y a construir una economía y una sociedad más resiliente. Una visión a largo plazo que integre las respuestas efectivas ante la crisis climática debe incorporar una dimensión adaptativa, integrada de forma coherente como un componente del proceso de transición ecológica.

Tal y como ha destacado el IPCC en sus informes de evaluación, España se ubica en una región del planeta altamente vulnerable. La Agencia Europea de Medio Ambiente, en su último informe sobre los impactos y vulnerabilidad frente al cambio climático en Europa⁷, destaca que su distribución es desigual en el ámbito europeo, identificando los países mediterráneos como aquellos que acumulan un mayor número de impactos potenciales.

En este mismo sentido, un estudio reciente de la Comisión Europea⁸ ha estimado los impactos en términos económicos del cambio climático en la agricultura, la energía y la productividad laboral, así como los derivados de las inundaciones fluviales, las inundaciones costeras y la mortalidad adicional por olas de calor. El impacto económico agregado, en un escenario de cambio climático intenso, sería 8 veces mayor en los países del sur de Europa que en los del norte. Cifra que se reduciría en 4 veces si el ascenso global de la temperatura media de la atmósfera fuera de 2°C. La siguiente figura muestra los resultados del estudio.

FIGURA B. I Comparativa del impacto económico previsto en las diferentes zonas UE a causa del cambio climático



Fuente: Final report of the JRC PESETA III Project, 2018⁹

⁷ EEA Report nº1/2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report.

⁸ <https://ec.europa.eu/jrc/en/peseta-iii>

⁹ Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project, EUR 29427 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018.

B.I EL CAMBIO CLIMÁTICO, UNA REALIDAD FÍSICA EN ESPAÑA

En España los efectos derivados del cambio climático ya se hacen notar de forma inequívoca:

- ▶ **La temperatura media ha ascendido 1,5°C** en los últimos 50 años, una cifra apreciablemente superior a la media global y a la media europea. Este ascenso de la temperatura es más intenso en el verano; de hecho, esta estación se está alargando en España unos 9 días por década, de forma que, según estimaciones recientes de AEMET, el verano dura en la actualidad casi cinco semanas más que a principios de los años 80.
- ▶ El calentamiento global también se hace sentir con claridad en **la temperatura superficial del agua en nuestros mares**. En el caso del Mediterráneo, ha sido de unos 0,3°C por década desde principios de los años 80¹⁰. Un Mediterráneo más cálido provoca, a su vez, un aumento del número de noches tropicales en la costa (días con temperaturas mínimas de más de 20°C).
- ▶ **El volumen global de las precipitaciones se ha reducido** ligeramente, pero se están produciendo cambios significativos en su reparto anual, con una tendencia al adelanto de las lluvias de primavera y a la reducción de las lluvias de verano.
- ▶ Debido al aumento del calor, que incrementa a su vez la evapotranspiración, en la mayoría de los ríos españoles **los caudales medios se han reducido** en las últimas décadas¹¹.
- ▶ **Eventos extremos**, como las olas de calor o las sequías, **están incrementando su frecuencia y su intensidad**. Según estimaciones recientes de la Agencia Europea de Medio Ambiente, los eventos extremos relacionados con la meteorología y el clima han causado en España unas pérdidas económicas directas superiores a los 37.000 M€ desde 1980¹².

Según estimaciones recientes de la Agencia Europea de Medio Ambiente, los eventos extremos relacionados con la meteorología y el clima han causado en España unas pérdidas económicas directas superiores a los 37.000 M€ desde 1980.

B.I.I Proyecciones climáticas regionalizadas

Las proyecciones regionalizadas para España, realizadas a partir de los modelos climáticos utilizados en el Quinto Informe de IPCC¹³, dibujan unas tendencias de futuro que, en lo esencial, suponen una profundización en la evolución ya observada:

- ▶ Las **temperaturas máximas y mínimas** muestran un aumento progresivo a lo largo del siglo XXI, mayor en verano y para el escenario más emisoro.
- ▶ Las **temperaturas máximas y mínimas** del verano y otoño muestran un incremento más intenso que las del invierno y primavera, siendo el calentamiento mayor en las zonas interiores y del este que en las zonas del norte peninsular.

¹⁰ Cálculos realizados por AEMET a partir de registros diarios obtenidos por el CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo) desde 1982 y 2019.

¹¹ Martínez-Fernández, J. y otros (2013). Recent trends in rivers with near-natural flow regime: The case of the river headwaters in Spain. Progress in Physical Geography 37(5) 685–700.

¹² EEA (2019). Economic losses from climate-related extremes in Europe. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/direct-losses-from-weather-disasters-3/assessment-2>

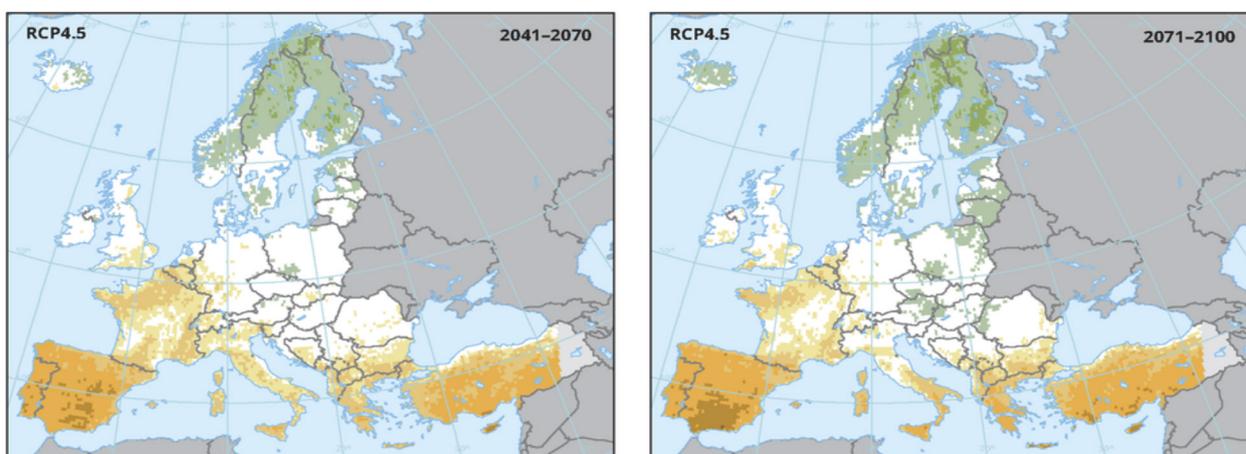
¹³ Ambar, P., Casado, M.J., Pastor, A. Ramos, P. y Rodríguez Camino, E. (2017). *Guía de escenarios regionalizados del cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC AR5*. MAGRAMA. AEMET.

- ▶ La **nubosidad**, en general, muestra una ligera disminución a lo largo del siglo XXI para el escenario más emisoro, salvo en el norte y en la región mediterránea en invierno.
- ▶ La **evapotranspiración real** muestra una ligera disminución para finales de siglo bajo el escenario más emisoro, salvo en las zonas montañosas y en el invierno.

En línea con lo ya observado hasta el presente, algunos eventos extremos relacionados con el clima tenderán a intensificarse. Así, las proyecciones indican que en el futuro las sequías tenderán a ser más largas y frecuentes¹⁴, y las olas de calor serán más frecuentes, largas e intensas.

La siguiente figura muestra la evolución prevista en la frecuencia de las sequías meteorológicas para el periodo 2041-2070, en un escenario de emisiones medias (RCP4.5) y otro de altas emisiones (RCP8.5).

FIGURA B. 2 Frecuencia estimada de las sequías meteorológicas según escenarios (2041-2070)



Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente

B.1.2 Complementariedad adaptación-mitigación

Adaptación y mitigación constituyen respuestas complementarias frente al cambio climático: sin una adecuada acción en materia de mitigación, las capacidades adaptativas se verán irremediablemente desbordadas. Y, por otra parte, una adaptación que no sea baja en carbono carecería de sentido, ya que alimenta el cambio cuyos efectos se desean evitar.

Un ejemplo de las sinergias entre mitigación y adaptación es que la adaptación contribuye a que los ecosistemas sigan manteniendo su funcionalidad a largo plazo, garantizando, además, su papel como almacenes y/o sumideros de carbono. La conservación de los suelos o prevención de incendios constituyen también buenos ejemplos, pero existen confluencias similares en muchos otros campos.

¹⁴ CEDEX (2017). Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/evaluacion_cc_recursos_hidricos_sequias_espana_tcm30-437706.pdf

B.2 POLÍTICA EN MATERIA DE ADAPTACIÓN

España aprobó su Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) en el año 2006. Este plan ha ido desarrollándose a través de tres programas de trabajo para los periodos 2006-2008, 2009-2013 y 2014-2020.

A mediados de 2019 se completó una evaluación general del PNACC, algunas de cuyas principales conclusiones han sido las siguientes:

- ▶ Ha proporcionado un conjunto de herramientas básicas de trabajo, como proyecciones regionalizadas, visores de escenarios o manuales metodológicos que facilitan la autoevaluación de las vulnerabilidades y la definición de respuestas adaptativas.
- ▶ Ha servido para promover la generación de conocimiento en materia de impactos y vulnerabilidad, dando lugar, directa o indirectamente, a un importante conjunto de estudios.
- ▶ Ha contribuido a la capacitación y movilización de actores sociales a través de iniciativas como la organización de seminarios sectoriales, foros de coordinación e intercambio y otras actividades formativas.

La evaluación también ha detectado retos pendientes, entre los que destacan la identificación y aplicación de más medidas que traduzcan el conocimiento y la conciencia generados en respuestas de adaptación efectivas, así como el desarrollo de un sistema de indicadores que permita un seguimiento de los efectos de las políticas de adaptación.

De cara al futuro más próximo (periodo 2021-2030) se contempla la aprobación de un nuevo Plan Nacional de Adaptación (PNACC-2), que se desarrollará a través de dos programas de trabajo sucesivos (PT-1, periodo 2021-2025 y PT-2, periodo 2026-2030).

La siguiente figura muestra la relación entre la ELP y el PNACC-2.

FIGURA B.3 Marcos temporales del PNACC-2 y Programas de Trabajo



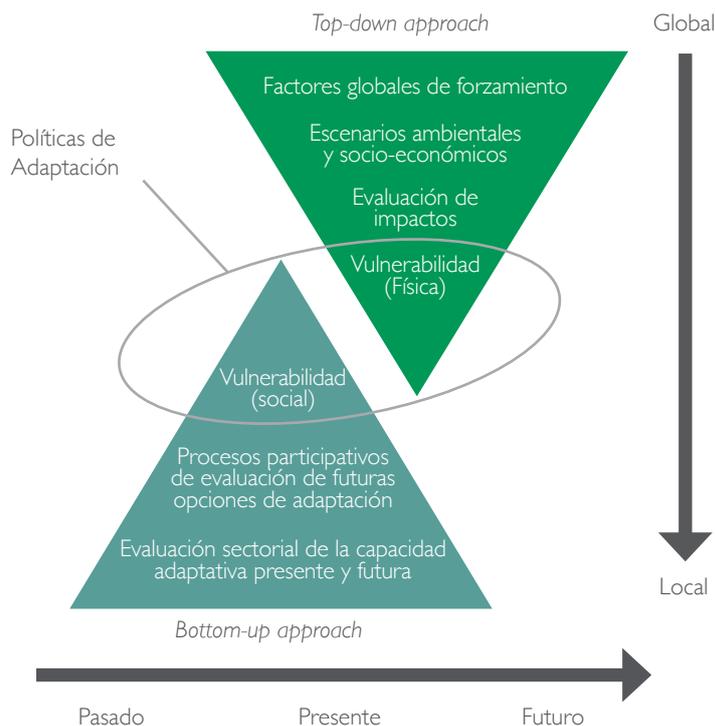
Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

B.2.1 Principios generales de la acción española en materia de adaptación

Como resultado de la experiencia acumulada y de la consideración de recomendaciones y directrices planteadas en el ámbito internacional, la acción española en materia de adaptación se orienta atendiendo a una serie de principios operativos, entre los que cabe destacar:

- ▶ **Integración de las políticas de adaptación y mitigación:** ambas constituyen respuestas complementarias ante el cambio climático. Es necesario aprovechar las sinergias entre las dos estrategias, promoviendo soluciones que sean, a la vez, bajas en carbono y resilientes ante el cambio del clima.
- ▶ **Consideración de las dimensiones sociales y territoriales de la vulnerabilidad frente al cambio climático:** los impactos se distribuyen de forma desigual, tanto desde la perspectiva geográfica como desde la perspectiva social. Los componentes geográfico y social de la vulnerabilidad deben ser tenidos en cuenta en el desarrollo de diagnósticos y en la definición de medidas de adaptación.
- ▶ **Complementariedad de enfoques “de arriba hacia abajo” y “de abajo hacia arriba”:** El diseño de los procesos de adaptación utiliza, de forma complementaria, los enfoques “de arriba hacia abajo” (*top-down approach*) y “de abajo hacia arriba” (*bottom-up approach*). Como muestra la siguiente figura, el primero parte de lo general hacia lo particular; utilizando escenarios climáticos y socioeconómicos, mientras que el segundo avanza desde lo particular hacia lo general, identificando las vulnerabilidades con la participación de los actores clave.

FIGURA B.4 Complementariedad de los enfoques “de arriba hacia abajo” y “de abajo hacia arriba”



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, adaptado de FINADAPT¹⁵

¹⁵ Assessing the Adaptive Capacity of the Finnish Environment and Society under Climate Change, 2004.

ANEXO B. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

- ▶ **Anticipación y cobeneficios:** la adaptación es una política anticipatoria que, implícitamente, persigue generar ahorro en el futuro al evitar daños potenciales o reduciendo los gastos en futuras acciones de respuesta. En este sentido, la adaptación es una política con proyección a medio y largo plazo. No obstante, además de responder a problemas o necesidades futuras, la adaptación trata de producir cobeneficios sociales y ambientales a corto plazo.
- ▶ **Fundamento científico y principio de precaución:** las decisiones en materia de adaptación deben fundamentarse en la mejor ciencia disponible. No obstante, el objetivo prioritario de estas decisiones es garantizar un nivel elevado de protección, incluso en los casos en que los datos científicos disponibles no permitan una determinación o evaluación completa del riesgo (principio de precaución).
- ▶ **Utilización conjunta de diferentes instrumentos:** como muestra la figura, las políticas de adaptación pueden utilizar un amplio conjunto de instrumentos para evitar o reducir los riesgos derivados del cambio climático. El uso concertado y coordinado de estos instrumentos, coherente con los contextos socio-ambientales, hace posible una adaptación más completa y efectiva. En la figura se presentan distintos tipos de medidas y algunos ejemplos de cada tipología.

FIGURA B.5 Tipos de medidas para la gestión de los riesgos del cambio climático



Fuente: Basado en el Cuadro RRPI del Quinto Informe del IPCC (Resumen para responsables de políticas, Grupo II), simplificado

- ▶ **Integración de los compromisos internacionales:** la acción española en materia de adaptación asume el cumplimiento de los compromisos adquiridos por España, como signataria de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), el Acuerdo de París, la Agenda 2030 y otros acuerdos internacionales.
- ▶ **Coordinación:** la adaptación al cambio climático se plantea en diversas escalas y sectores. Por ello, la coordinación entre instituciones es un factor decisivo para definir respuestas eficaces y coherentes.
- ▶ **Prevención de la maladaptación:** Las actuaciones orientadas a la adaptación al cambio climático deben evitar medidas que puedan resultar contraproducentes desde una perspectiva adaptativa, que contravengan alguno de los objetivos de desarrollo sostenible, o que afecten negativamente a la mitigación.

B.2.2. Componentes estratégicos en materia de adaptación

Para lograr respuestas de adaptación, suficientes y efectivas, la acción pública debe abordar de forma específica los siguientes aspectos:

B.2.2.1 Generación de conocimiento

El conocimiento en materia de impactos, vulnerabilidad y adaptación se ha incrementado sustancialmente en los últimos años, lo que facilita la toma de decisiones. A pesar de ello, es necesario seguir ampliando y actualizando el conocimiento y seguir trabajando en la identificación de respuestas adaptativas eficaces. Los sectores que deben protagonizar el desarrollo de las políticas y medidas han de ser partícipes de la generación del conocimiento, fomentándose los ejercicios de autoevaluación y cocreación.

B.2.2.2 Integración de la adaptación en la planificación y gestión públicas

Muy a menudo, la adaptación conlleva repensar las políticas y medidas ya existentes, a la luz de nuevos escenarios, que conllevan riesgos y limitaciones diferentes de los actuales. Evitar o limitar los impactos requiere incorporar la dimensión adaptativa a un amplio conjunto de políticas sectoriales: conservación de la biodiversidad, planificación y gestión del agua, agricultura, desarrollo rural, transporte, industria y energía, salud, educación... Muchas de ellas ya han empezado a incorporar criterios adaptativos, pero en el futuro será necesario seguir progresando en este eje de trabajo.

La adaptación al cambio climático se plantea en diversas escalas y sectores. Por ello, la coordinación entre instituciones es un factor decisivo para definir respuestas eficaces y coherentes.

B.2.2.3 Movilización de actores sociales

La adaptación frente al cambio climático solo puede ser entendida como una respuesta colectiva del conjunto de la sociedad española, incluyendo empresas, organizaciones sociales, administraciones públicas, comunidades locales y ciudadanía en general. Este planteamiento exige que el conjunto de la sociedad participe activamente en los distintos momentos del ciclo de la adaptación: la evaluación de los riesgos y vulnerabilidad, la identificación y valoración de opciones de adaptación, la aplicación de las medidas y su seguimiento y evaluación. A su vez, para que puedan realizarse las mejores aportaciones, es necesario impulsar la información, la divulgación, la capacitación, la investigación e innovación social y la participación.

B.2.2.4 Seguimiento de los cambios y evaluación

El clima futuro no será como el que se ha conocido en el pasado. Este hecho obliga a reforzar los sistemas de seguimiento; a multiplicar la atención sobre las señales y tendencias, cuya adecuada interpretación permitirá ajustar mejor la respuesta adaptativa.

En este sentido la acción española en materia de adaptación debe:

- ▶ Asegurar la estabilidad necesaria y reforzar, en su caso, los sistemas de observación sistemática del clima.
- ▶ Construir sistemas de indicadores de impactos, adaptación y resiliencia, que faciliten el seguimiento de variables clave para reconocer tendencias y valorar los éxitos y fracasos de las políticas y medidas de adaptación.

B.2.2.5 I+D+i

Dada la elevada vulnerabilidad de España, resulta esencial acelerar el desarrollo y despliegue de la I+D+i, que permita generar conocimiento y escalar las tecnologías, para hacerlas más competitivas y eficientes en el uso de los recursos y adaptadas al nuevo entorno. Es necesario desarrollar un ecosistema sólido e innovador en torno al cambio climático, porque el impulso y desarrollo de la I+D+i debe consolidar la incorporación de los avances y el conocimiento científico a la toma de decisiones políticas. Para ello hace falta realizar un esfuerzo de educación y comunicación a la sociedad, acerca de la importancia de la adaptación; solo desde el conocimiento puede desarrollarse la necesidad de crear las tecnologías y la innovación adecuada para abordarlo.

Además, es necesario un cambio significativo en el papel de las administraciones públicas, que deben actuar como dinamizadoras de la generación e intercambio de conocimiento, inductoras de la innovación y facilitadoras del proceso de planificación estratégica ante los impactos del cambio climático en la sociedad y las empresas. Esta Estrategia cuenta con un apartado específico dedicado a la I-D-i en el que se detallan líneas de acción y temáticas a abordar (ver capítulo 5 Factores transversales clave).

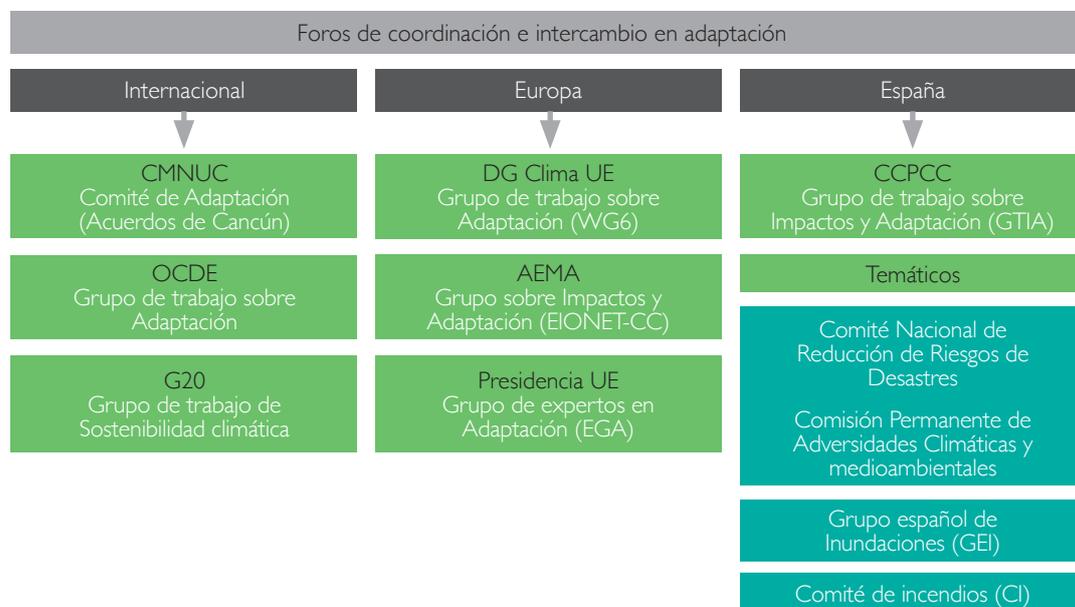
B.2.2.6 Coordinación interinstitucional y gobernanza

Las políticas y medidas de adaptación se definen y aplican en diversas escalas territoriales y ámbitos sectoriales. La adaptación resulta relevante en todas ellas, **siendo necesario asegurar la coherencia y la integración efectiva en estos dos ejes, territorial y sectorial, para asegurar respuestas coherentes y efectivas.**

España participa activamente en los principales foros de coordinación en materia de adaptación en el ámbito europeo e internacional. También cuenta con órganos específicos para la coordinación de las políticas de adaptación entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas, así como de foros especializados en temas relacionados con el clima, como las inundaciones o los incendios.

En la siguiente figura se muestran los principales foros de coordinación, análisis e intercambio de buenas prácticas en materia de adaptación al cambio climático.

FIGURA B.6 Principales foros en materia de adaptación al cambio climático



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

Estos mecanismos estables de coordinación e intercambio de información han de reforzarse para facilitar un trabajo más estrecho entre los diversos departamentos o ámbitos sectoriales de las administraciones: a modo de ejemplo, la construcción de políticas coherentes de adaptación en materia de agua pasa por lograr una estrecha coordinación entre las políticas de planificación y gestión del agua y las de agricultura, principal actividad económica consumidora de recursos hídricos en España.

Además, se ha de fomentar el mantenimiento de foros institucionales de participación en la elaboración y seguimiento de las políticas sobre adaptación al cambio climático, en los que estén involucradas las administraciones públicas y las organizaciones y entidades representativas de intereses sociales y ambientales.

B.2.2.7 Transparencia y rendición de cuentas

A medida que los riesgos derivados de la crisis del clima tienden a aumentar, las políticas públicas en materia de adaptación cobran un protagonismo creciente. Esto hace necesario asegurar la transparencia, el conocimiento y el control social de las mismas. Una gestión transparente genera confianza y facilita la evaluación de estrategias, planes y programas de adaptación por parte de la sociedad y sus instituciones representativas. Algunos de los instrumentos que facilitan la citada rendición de cuentas son:

- ▶ Elaboración de informes periódicos de progreso, en los que se dé cuenta de los avances logrados y los retos pendientes.
- ▶ Organización de presentaciones y comparecencias periódicas ante los principales órganos soberanos: Congreso y Senado, parlamentos autonómicos, órganos colegiados de participación, etc.

Una gestión transparente genera confianza y facilita la evaluación de estrategias, planes y programas de adaptación por parte de la sociedad y sus instituciones representativas.

B.2.3 Herramientas transversales

La acción pública en materia de cambio climático ha de aportar una serie de herramientas prácticas de carácter transversal que faciliten el análisis de los impactos y los riesgos y la definición de respuestas adaptativas. Entre ellas cabe destacar:

B.2.3.1 Observación sistemática y escenarios climáticos regionalizados

Reconocer las tendencias a partir de las observaciones y atisbar los posibles rasgos de los escenarios futuros de cambio climático permite planificar las respuestas. Los escenarios no pueden ser concebidos como predicciones precisas de lo que va a suceder, pero sí como **descripciones plausibles de las situaciones futuras relativas al clima y sus potenciales efectos**. La acción pública en materia de adaptación ha de garantizar:

- ▶ La observación sistemática de las variables clave del sistema climático.
- ▶ La actualización periódica de los escenarios climáticos, partiendo de los modelos más solventes y actuales.
- ▶ Su puesta a disposición de todas las personas interesadas a través de herramientas adecuadas y versátiles, como los visores de escenarios.
- ▶ La generación de servicios climáticos en colaboración con los sectores prioritarios, a través de los cuales los datos e información climática básica se transforman en productos y aplicaciones específicas útiles para usuarios de los diversos sectores.
- ▶ La capacitación de las personas interesadas para que éstas puedan hacer el mejor uso de las herramientas y los datos disponibles.

Los escenarios no pueden ser concebidos como predicciones precisas de lo que va a suceder, pero sí como descripciones plausibles de las situaciones futuras relativas al clima y sus potenciales efectos.

B.2.3.2 Plataforma de gestión de conocimiento sobre adaptación

Los portales on-line sobre adaptación han demostrado ser una herramienta eficaz para poner a disposición de cualquier persona interesada información relevante y recursos útiles para la adaptación. En España, la plataforma AdapteCCA¹⁶ ha ido mejorando de forma progresiva sus funcionalidades y ampliando sus contenidos. Este trabajo de actualización y mejora continua se mantendrá en el futuro, para asegurar que la plataforma contribuye a la gestión del conocimiento.

¹⁶ <https://www.adaptecca.es/>

B.2.4 Líneas de trabajo sectoriales

La adaptación adquiere sentidos específicos y se enfrenta a retos diversos en los distintos ámbitos sectoriales de la planificación y la gestión públicas. A continuación, se destacan algunos de los más relevantes:

B.2.4.1 Conservación de la biodiversidad

Hoy, igual que ayer, la biodiversidad constituye la base del bienestar material de las sociedades humanas, incluso aquellas que aparentemente poseen un mayor grado de artificialidad. En este sentido, resultan muy preocupantes los cambios provocados por el cambio climático en la composición, la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas españoles. Por ejemplo, en los ecosistemas marinos, la acidificación de las aguas, producida por el aumento de la concentración de CO₂, está dificultando el proceso de calcificación que llevan a cabo numerosos invertebrados; en ecosistemas acuáticos continentales se han observado cambios en la temperatura del agua y modificaciones en la composición de las comunidades y en su productividad; en los ecosistemas terrestres se han constatado cambios en los calendarios de foliación, fructificación o caída de las hojas en vegetales, o cambios en el calendario reproductivo, las migraciones y la distribución de numerosas especies animales, que tienden a desplazarse hacia latitudes más altas o mayores altitudes.

Entre las líneas de trabajo orientadas a limitar los impactos y acrecentar la resiliencia de los sistemas naturales, se incluirán:

- ▶ El refuerzo de las políticas y medidas orientadas a la conservación: los ecosistemas bien conservados y biodiversos tienen mayor resiliencia ante el cambio del clima.
- ▶ La promoción de la conectividad ecológica, incluyendo la identificación y conservación de los corredores ecológicos.
- ▶ La integración de la adaptación en la planificación y gestión de áreas protegidas.

La biodiversidad constituye la base del bienestar material de las sociedades humanas, incluso aquellas que aparentemente poseen un mayor grado de artificialidad.

B.2.4.2 Planificación hidrológica y gestión del agua

Las proyecciones sobre la crisis climática apuntan hacia una disminución progresiva de los recursos hídricos en España. En un país que ya utiliza de forma intensa el agua, tanto de ríos como de acuíferos, es esencial dar respuesta a las nuevas presiones y gestionar los conflictos de usos. El reto es crucial ya que, si no se interviene de forma adecuada, las concesiones no podrán ser atendidas con los recursos disponibles abocándonos a una crisis estructural por el agua.

La adaptación al cambio climático en la planificación y gestión del agua debe abordar diversos frentes complementarios, destacando:

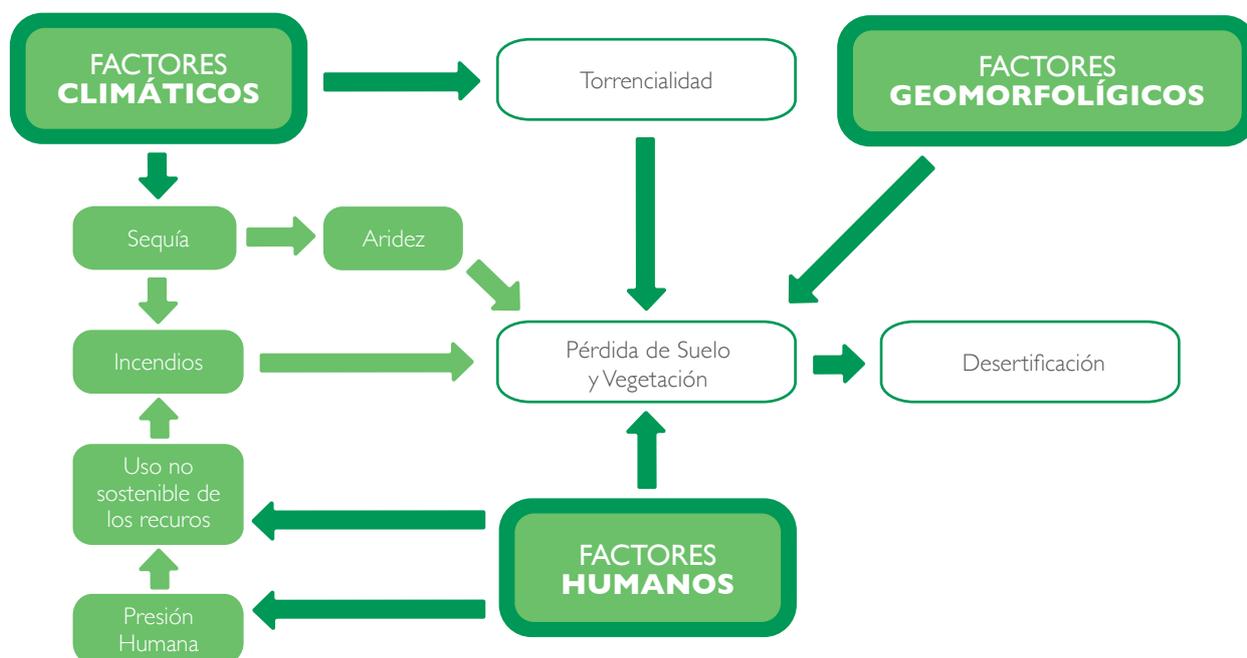
- ▶ La gestión de las sequías (ante la tendencia a que sean más frecuentes y más largas), con mecanismos que favorezcan la flexibilidad de la oferta y la demanda.
- ▶ La gestión de las inundaciones, dando respuesta a nuevos patrones climáticos tales como fusiones de la nieve más rápidas o lluvias torrenciales más intensas o fuera de las épocas habituales.
- ▶ La protección de la calidad de las aguas, que está sujeta a nuevas presiones derivadas de la tendencia a menores caudales y mayores temperaturas.

- ▶ La promoción del uso eficiente del agua, que debe orientarse de forma prioritaria al logro de ahorros netos en los consumos en aquellos lugares en los que los índices de explotación sean elevados y los recursos menguantes.
- ▶ La aportación de nuevos recursos procedentes de la desalación (a partir de fuentes energéticas renovables) y la reutilización, orientada a reducir la brecha entre demandas consolidadas y recursos disponibles.
- ▶ La revisión de las concesiones para adecuarlas a los recursos realmente disponibles, tratando de evitar que los episodios de demandas insatisfechas se cronifiquen, dando lugar a crisis y conflictos de usos de carácter estructural.

B.2.4.3 Suelos y desertificación

La desertificación es un proceso complejo, con múltiples factores interrelacionados, que desencadenan un conjunto de procesos y acciones que dan lugar a una degradación más o menos progresiva del medio. La combinación de factores naturales y humanos que conducen a la desertificación y sus interrelaciones puede observarse en la figura siguiente:

FIGURA B.7 Factores que conducen a la desertificación



Fuente: MAGRAMA, 2016

Un estudio realizado en el marco del PNACC, ha analizado el impacto del cambio climático sobre el riesgo de desertificación en España. Para ello consideró, entre todos los factores y parámetros que intervienen en el mapa de riesgo de desertificación, los más directamente implicados con las variables climáticas, y por tanto, susceptibles de ser proyectados para valorar el riesgo futuro de desertificación: **el índice de aridez y la erosión del suelo**¹⁷.

¹⁷ La erosión del suelo se midió a través del factor R que mide la erosividad de la lluvia.

Las principales tendencias que se derivan del análisis son¹⁸.

- ▶ Incremento de la superficie en las categorías de mayor aridez, muy poco acusado en la categoría más árida y muy acusado en la categoría de semiárido, sobre todo, a partir del segundo periodo considerado (2041-2070).
- ▶ Ligero incremento de erosividad (Factor R) en el periodo 2011-2040 en todo el territorio nacional.
- ▶ Considerando conjuntamente la evolución de la aridez y de la erosión, los cambios en el mapa de riesgo de desertificación muestran que todos se incrementan.
- ▶ Los ecosistemas más frágiles, con menos capacidad para adaptarse a los cambios previstos en la temperatura y la precipitación, serán los más vulnerables frente a la degradación.

Considerando la naturaleza multicausal de la desertificación, la lucha contra este fenómeno debe incluir planteamientos y propuestas de todos los sectores implicados, en particular el sector forestal y el agrícola, así como de los sectores ligados a la gestión de los recursos hídricos: *“las actividades de lucha contra la desertificación deberán, por definición, formar parte de un aprovechamiento integrado de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas para el desarrollo sostenible y tienen por objeto la prevención o la reducción de la degradación de las tierras, la rehabilitación de tierras parcialmente degradadas y la recuperación de tierras ya desertificadas”*¹⁹.

El Programa de Acción Nacional contra la Desertificación²⁰ (PAND) establece las medidas y acciones necesarias.

En el ámbito forestal, las medidas a adoptar coinciden con las recogidas en esta Estrategia en el capítulo 4, dedicado a las absorciones en el sector LULUCF (ordenación y restauración de montes/tierras forestales), poniendo de manifiesto la sinergia entre las políticas de adaptación y mitigación en este sector.

B.2.4.4 Agricultura

El impacto del cambio climático sobre la agricultura en España se prevé de magnitud variable según la localización geográfica y el subsector (tipo de cultivo o ganadería). No obstante, de manera general, el aumento de temperatura causará un estrés hídrico más acusado, alterando la producción. Por otra parte, es previsible un mayor impacto potencial de los fenómenos meteorológicos extremos, que serán más frecuentes y virulentos. Además, los cambios en la estacionalidad y la variabilidad del clima tendrán un impacto significativo en el rendimiento y, previsiblemente, en la calidad de los productos agrícolas.

Los cambios en la estacionalidad y la variabilidad del clima tendrán un impacto significativo en el rendimiento y, previsiblemente, en la calidad de los productos agrícolas.

Como ejemplo, en la Figura B.8 se muestra la variación de las zonas de alto potencial climático de calidad vitivinícola. Estas zonas se identifican a partir de los valores combinados de los índices de Huglin, frescor nocturno y sequía.

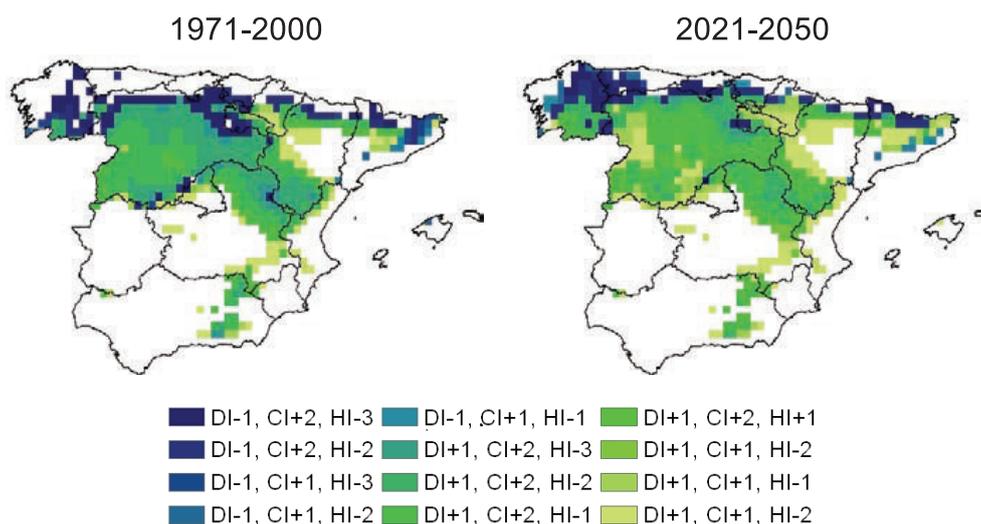
En el periodo 1971-2000, la superficie con mayor potencial vitivinícola constituía un 47% de la superficie española, sin embargo, para el periodo 2021-2050, esa superficie se podría reducir hasta el 36%. En 1971-2000 el 23% de la superficie con mayor potencial estaría dentro de las Denominaciones de Origen Protegidas, un porcentaje que se reduciría al 19% para el periodo 2021-2050.

¹⁸ MAGRAMA (2016). Impactos del cambio climático en los procesos de desertificación en España.

¹⁹ MAGRAMA (2016). Impactos del cambio climático en los procesos de desertificación en España.

²⁰ https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch_pand.aspx

FIGURA B.8 Zonas de alto potencial climático de calidad vitivinícola (1971-2000 y 2021-2050)



Fuente: COAG (2016)

Ante este horizonte existen numerosas prácticas eficaces de adaptación, a escala de explotación y también a nivel sectorial. Éstas se aplican a la producción, con técnicas adaptativas, generalmente más respetuosas con el medio, pero también al consumo, que pueden provocar cambios cualitativos y cuantitativos en la manera de producir alimentos.

La innovación, la mejora y transmisión del conocimiento pueden contribuir a un sector agrícola más adaptado y sostenible. Algunas de las líneas de trabajo a seguir desarrollando son:

- ▶ Identificación de áreas y sectores vulnerables y evaluación de las necesidades y oportunidades de cambio de manejo, cultivos, variedades y razas en respuesta a las tendencias climáticas.
- ▶ Apoyo a la investigación agrícola y a la producción experimental para la selección de cultivos, desarrollo de variedades y modelos de gestión que mejor se adapten a las nuevas condiciones.
- ▶ Fomento de la capacidad de adaptación mediante sensibilización, información y asesoramiento individualizado sobre la gestión de las explotaciones agrícolas.
- ▶ Fomento de la dieta mediterránea y del consumo de productos locales y de temporada (ver epígrafe C.5 sobre Emisiones difusas no energéticas).

B.2.4.5 Planificación y gestión forestal

Los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas forestales en España son ya evidentes en muchos aspectos: cambios en la distribución de las formaciones arbóreas y supra arbóreas, modificaciones estructurales y funcionales, alteraciones en la salud del arbolado, mayor vulnerabilidad a eventos extremos meteorológicos e incendios, modificación en el flujo de bienes y servicios ambientales que proporcionan los bosques, etc. Y los impactos que se proyectan señalan una intensificación progresiva de estos efectos a medida que avance el siglo XXI.

Por tanto, la adaptación de los sistemas forestales a través de su gestión y planificación es una tarea ineludible para el sector. La adaptación debe enfocarse a conseguir el sistema que mejor se ajuste a las nuevas condiciones proporcionando el mayor número de bienes y servicios.

Además, el sector forestal tiene una importancia estratégica como sumidero natural en el objetivo de neutralidad climática a 2050, a lo que hay que añadir la dependencia de los servicios ecosistémicos fundamentales sustentados por los bosques (conservación de la biodiversidad, regulación del ciclo hidrológico, control de la erosión, desarrollo rural, etc.) que se deteriorarán si no se aplican criterios de gestión y planificación adaptativa.

Algunas de las líneas de trabajo prioritarias identificadas son:

- ▶ Incorporación de criterios adaptativos particularizados para cada enclave, a través de la aplicación de los escenarios regionalizados de cambio climático en la planificación que se incluye en los proyectos de ordenación de montes.
- ▶ Inclusión de una perspectiva hidrológico-forestal en el desarrollo de una planificación integrada del territorio; promoción de los bosques como herramienta de regulación de condiciones climáticas a nivel local y como instrumento de reducción del riesgo de desastres.
- ▶ Actualización de las regiones de procedencia de los materiales forestales de reproducción teniendo en cuenta los escenarios regionalizados de cambio climático, como instrumento para la planificación (iniciativas de reforestación y restauración de masas existentes).

La adaptación de los sistemas forestales a través de su gestión y planificación es una tarea ineludible para el sector. La adaptación debe enfocarse a conseguir el sistema que mejor se ajuste a las nuevas condiciones, proporcionando el mayor número de bienes y servicios.

B.2.4.6 Ciudad, urbanismo y vivienda

Algunos de los impactos asociados al cambio climático adquieren una especial relevancia en el medio urbano. Por una parte, la concentración de población y de infraestructuras (viviendas, servicios públicos, centros productivos) hace de las ciudades espacios estratégicos en materia de adaptación; por otra, las características físicas propias de los espacios urbanos amplifican un cierto número de impactos derivados del cambio climático: por ejemplo, el efecto isla de calor, propio de las ciudades, amplifica los efectos de las altas temperaturas; el elevado grado de impermeabilización del suelo constituye un factor de vulnerabilidad ante lluvias torrenciales, al poseer menor capacidad de infiltración del agua en el suelo.

Además, unos microclimas urbanos saludables contribuyen de forma evidente a la calidad de vida en las ciudades. Las acciones concretas desarrolladas en el ámbito de la adaptación urbana son muy visibles para la gente y, con frecuencia, aportan efectos colaterales positivos y sinergias. Por ejemplo, la mejora de la infraestructura verde atenúa el efecto "isla de calor", pero también aporta beneficios evidentes al paisaje urbano, creando espacios más acogedores y relajantes para sus habitantes.

Una de las herramientas clave con que cuentan las administraciones regionales y locales para prevenir los riesgos derivados del cambio climático es el planeamiento urbanístico. Tomar en consideración los riesgos derivados del cambio climático a la hora de estructurar el territorio y asignar usos preferentes y limitaciones a los usos del suelo limita la vulnerabilidad de los nuevos desarrollos urbanos. La vulnerabilidad también puede reducirse en los espacios ya consolidados a través de intervenciones sobre el espacio público, el parque de viviendas, los equipamientos o los servicios. En consecuencia:

- ▶ Las ciudades españolas deberán definir y desarrollar una política propia en materia de adaptación, que habrá de incorporarse a los diferentes ámbitos de la gestión local.
- ▶ En los próximos años la planificación urbanística ha de consolidarse como una herramienta estratégica frente a los riesgos derivados del cambio climático.
- ▶ Los planes municipales de lucha contra el cambio climático y los planes municipales de adaptación se han revelado como elementos útiles para la construcción de un sistema local de gobernanza.

B.2.4.7 Áreas costeras

Un tercio de la población española reside en su franja costera, a pesar de que ésta constituye solo un 6,7% del territorio. Durante los primeros años del siglo XXI la población residente en municipios costeros ha crecido a un ritmo superior a la media nacional (1,9 %, frente al 1,6 % global). Las costas constituyen además un espacio de atracción clave para una de las principales actividades económicas del país: el turismo. **Los peligros derivados del cambio climático en las costas incluyen el aumento en la frecuencia e intensidad de temporales costeros, la inundación permanente por la subida del nivel del mar, la erosión y la pérdida de ecosistemas clave como consecuencia del calentamiento del agua del mar.**

De acuerdo con las proyecciones, los elementos costeros de carácter rígido sufrirán un incremento de las inundaciones, que será moderado en su intensidad, pero más importante en su frecuencia. A modo de ejemplo, se ha estimado que en la ciudad de Bilbao la cota de inundación en un periodo de 50 años (Cl_{50}) pasaría de 3,85 m en 2010 a 4 m en 2040. Sin embargo, la cota de inundación de 3,85 m pasaría de alcanzarse una vez cada 50 años, a una vez cada 15 en 2040²¹. En elementos costeros no rígidos como las playas, la subida del nivel del mar provoca la pérdida y fragmentación de hábitats y, en muchos casos, un retroceso del arenal, con diferencias importantes entre distintos tramos costeros.

Un tercio de la población española reside en su franja costera, a pesar de que ésta constituye solo un 6,7% del territorio. Durante los primeros años del siglo XXI la población residente en municipios costeros ha crecido a un ritmo superior a la media nacional (1,9 %, frente al 1,6 % global).

La Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española²², aprobada en 2016, establece objetivos y directrices e identifica medidas orientadas a incrementar la resiliencia de la costa y a integrar la adaptación al cambio climático en la planificación y gestión costeras. Se plantean medidas de protección, de acomodación y de retroceso, entre ellas:

- ▶ Desarrollo de nuevas herramientas para el análisis de riesgos en la costa.
- ▶ Refuerzo de los sistemas de alerta temprana y creación de protocolos de evacuación.
- ▶ Integración de los riesgos costeros en planes de ordenación territorial y urbanismo.
- ▶ Conservación de playas, sistemas dunares, humedales y marismas.

²¹ Losada, I y otros (2014). Cambio climático en la costa española. MAGRAMA, Madrid. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf

²² Para más información: https://www.adaptecca.es/sites/default/files/editor_documentos/Estrategia_Adaptacion_al_CC_de_la_Costa_Espanola_2016_Aprobada.pdf

B.2.4.8 Medio marino

El océano constituye una pieza clave del sistema climático. Por ello, resulta esencial velar por la salud de los mares y océanos²³ para limitar los riesgos derivados del cambio climático. El calentamiento global está provocando cambios importantes en los océanos, incluyendo cambios físico-químicos:

- ▶ Ascenso del nivel del mar, que se ha acelerado en las últimas décadas.
- ▶ Acidificación de las aguas.
- ▶ Pérdida del oxígeno disuelto.
- ▶ Incremento de las temperaturas.

Y también cambios biológicos:

- ▶ Cambios en la distribución de las especies marinas.
- ▶ Cambios fenológicos.
- ▶ Disminución de la producción primaria.
- ▶ Mortandades masivas en especies concretas²⁴.

Estos cambios conllevan, a su vez, impactos y riesgos graves para las sociedades humanas, ya que los mares proporcionan alimento a la humanidad y constituyen un eslabón esencial en el ciclo del agua en el planeta.

La adaptación al cambio climático en el medio marino requiere trabajar en diversos frentes complementarios, destacando:

- ▶ El seguimiento de los impactos del cambio climático en el medio marino.
- ▶ La gestión de las Áreas Marinas Protegidas.
- ▶ La gestión sostenible de la actividad pesquera.
- ▶ La protección de la biodiversidad marina.

El calentamiento global está provocando cambios importantes en los océanos, incluyendo cambios físico-químicos; y biológicos que conllevan impactos y riesgos para las sociedades humanas a las que dan alimento.

²³ Kerstin, D. (2016). Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación. MAGRAMA, Madrid. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/kersting_2016_cambio_climatico_medio_marino_tcm30-70535.pdf

²⁴ A modo de ejemplo, el aumento de la temperatura del agua ha disparado las tasas de mortalidad de la Posidonia oceánica en áreas insulares del mediterráneo y ha provocado la regresión de los bosques de macroalgas atlánticos.

B.2.4.9 Infraestructuras de transporte

Las infraestructuras de transporte que actualmente se encuentran en proceso de planificación en España tendrán, en su inmensa mayoría, tiempos de vida que van más allá de 2050. Por tanto, **es necesario que sus características de diseño sean adecuadas para las condiciones climáticas que deberán soportar a lo largo de su vida útil.**

En lo relativo a las infraestructuras ya existentes, su vulnerabilidad frente a las adversidades asociadas al clima, actual y futuro, es diversa. Un cuestionario diseñado por Puertos del Estado y remitido a las autoridades de los puertos de titularidad estatal ha permitido identificar el viento y el oleaje como las variables relacionadas con el clima que más inciden en la operativa de los mismos, pudiendo paralizar la actividad en la mayor parte de ellos²⁵.

Las infraestructuras de transporte que actualmente se encuentran en proceso de planificación en España tendrán, en su inmensa mayoría, tiempos de vida que van más allá de 2050. Por tanto, es necesario que sus características de diseño sean adecuadas para las condiciones climáticas que deberán soportar a lo largo de su vida útil.

Por otra parte, un estudio realizado por el CEDEX ha identificado las secciones de la Red de Carreteras del Estado y de la Red Ferroviaria de Interés General potencialmente más expuestas, identificando los tipos de eventos que afectan con mayor frecuencia a las diferentes secciones de la red y su repercusión sobre los usuarios y la infraestructura²⁶. En términos generales, se estima que la vulnerabilidad actual es superior en la red ferroviaria, que posee alguna afectación importante en un 12% de su longitud, frente a un 6% en el caso de la Red de Carreteras. Considerando un conjunto de proyecciones climáticas²⁷ para un horizonte temporal de 30 años, y a partir del juicio experto de los técnicos de carreteras y ferrocarriles, se estima que se producirán aumentos ligeros de la vulnerabilidad respecto a los actuales, algo mayores en la red ferroviaria.

La incorporación de nuevos estándares en el diseño de infraestructuras que den respuesta a las posibles condiciones del clima futuro es un proceso que ya se ha iniciado. No obstante, hay que integrar de forma generalizada la dimensión adaptativa en cada proyecto y cada obra importante.

Las infraestructuras críticas con mayor vulnerabilidad potencial, como es el caso de los puertos, afectados en su capacidad operativa por factores como el ascenso del nivel del mar o el aumento de la temperatura del agua, deberán contar con planes de adaptación específicos²⁸.

B.2.4.10 Sistema energético

La adaptación al cambio climático a lo largo de las próximas tres décadas deberá producirse en un escenario de rápida descarbonización del sistema energético español. En este sentido, los rasgos que definan al sistema emergente definirán sus vulnerabilidades futuras.

En todo caso, es evidente que el cambio climático y la variabilidad climática producen impactos sobre diferentes componentes del sistema energético, pudiendo afectar a la producción (por ejemplo, a través de los cambios en la disponibilidad de recursos primarios como el viento, el sol o el agua), la generación, el transporte, distribución y almacenamiento de la energía, así como a su demanda.

²⁵ Gomis, D. y Álvarez, E. (coords.) (2016). *Vulnerabilidad de los puertos españoles ante el cambio climático*. Ministerio de Fomento, Madrid.

²⁶ Compte, A. (2018). *Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos*. CEDEX, Madrid.

²⁷ Las proyecciones utilizaron los resultados de Euro-Cordex, basados en modelos del Quinto Informe del IPCC.

²⁸ El organismo Puertos del Estado ha finalizado recientemente un plan de adaptación piloto para el puerto de Gijón y, con la metodología diseñada, tiene previsto elaborar próximamente planes de adaptación para otros 10 puertos de titularidad estatal.

En lo relativo a los impactos sobre la producción, un estudio reciente de la Comisión Europea²⁹ estima, para un ascenso global de la temperatura media de la atmósfera de 2°C, una disminución media del 4% de caudal hidroeléctrico en la región suroccidental europea, que incluye España, Portugal, Sur de Francia y Norte de Italia. Estas reducciones en la producción hidroeléctrica, sujetas a una notable variación interanual, deberán ser compensadas para asegurar un sistema energético fiable.

En lo relativo a los efectos sobre la demanda, el incremento de las temperaturas está provocando cambios en las necesidades de calefacción y **refrigeración**. En el futuro, los cambios serán especialmente relevantes en materia de refrigeración, estimándose un aumento del 14% de los Grados-Día de Refrigeración por década en el periodo 2010-2049³⁰.

Algunas de las líneas de trabajo para avanzar en la adaptación del sector energético español son:

- ▶ Elaboración de proyecciones sobre el impacto del cambio climático en los potenciales de producción de energías renovables, como el hidroeléctrico o la biomasa, e integración de los resultados en la planificación energética.
- ▶ Identificación de infraestructuras altamente vulnerables e impulso a programas específicos de adaptación.
- ▶ Desarrollo de herramientas de evaluación del riesgo específicas para el sector.
- ▶ Desarrollo de normas de adaptación para las nuevas infraestructuras energéticas.

Es evidente que el cambio climático y la variabilidad climática producen impactos sobre diferentes componentes del sistema energético, pudiendo afectar a la producción (por ejemplo, a través de los cambios en la disponibilidad de recursos primarios como el viento, el sol o el agua), la generación, el transporte, distribución y almacenamiento de la energía, así como a su demanda.

En ese sentido, cabe mencionar que el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 entregado por España a la Comisión Europea ya incluye un amplio apartado sobre la adaptación del sistema energético a los impactos derivados del cambio climático.

B.2.4.11. Sector asegurador

El sector asegurador tiene un papel fundamental en la respuesta frente al cambio climático, al constituir una vía para la transferencia y distribución de los riesgos.

Además de las compensaciones económicas tras los eventos extremos, que contribuyen a la viabilidad de los sectores socioeconómicos frente al cambio climático, los seguros pueden promover la reducción del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en dichos sectores. Para ello es necesario explorar todo el potencial de la actividad aseguradora a la vez que se promueve su solvencia y estabilidad a largo plazo a través de medidas de adaptación.

Las características del sistema asegurador español, en el que el Estado interviene a través de figuras como el Consorcio de Compensación de Seguros, han hecho que sea tomado como referencia de éxito a nivel internacional en el contexto de la adaptación al cambio climático.

²⁹ Bisselink, B. et al. (2018). Impact of a changing climate, land use, and water usage on Europe's water resources. A model simulation study. JRC Technical Reports. European Commission. <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/impact-changing-climate-land-use-and-water-usage-europe-s-water-resources-model-simulation-study>

³⁰ Girardi, G. y otros (2015). Informe de adaptación al cambio climático del sector energético español. Instituto de Investigación Tecnológica. Univ. Comillas. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/informeadaptacionalccdelsectorenergeticoespanol-2015_tcm30-485922.pdf

B.2.5 Protección de la salud

El cambio climático afecta a la salud humana a través de diversas vías: los episodios de altas temperaturas agravan las enfermedades cardiovasculares y respiratorias, sobre todo entre las personas de edad avanzada. Las personas que trabajan en el exterior y los que realizan ejercicio al aire libre también son grupos especialmente vulnerables.

Por otra parte, el cambio climático incide sobre la seguridad alimentaria, tanto en lo referido a la provisión de alimentos como a su salubridad.

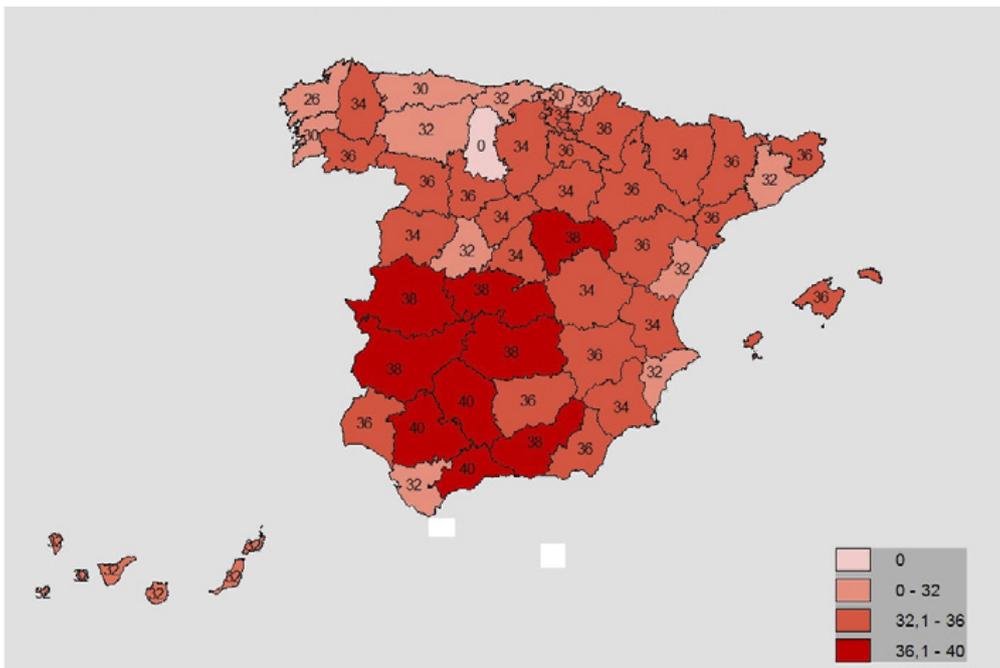
Además, el cambio climático ha ampliado la distribución geográfica o aumentado la severidad de enfermedades transmitidas por el agua y por vectores como la leishmaniosis visceral, la borreliosis de Lyme, la encefalitis transmitida por garrapatas, el virus del Nilo Occidental, el dengue y el chikungunya.

En España, el impacto sobre la mortalidad es especialmente destacado en el caso de las olas de calor, a las que se asocia la muerte de más de 14.000 personas en el periodo 1980-2017.

A partir de 2004 (con posterioridad a la ola de calor extremo del verano de 2003), el Plan de Prevención de los efectos de las altas temperaturas en la salud ha tenido un efecto positivo evidente, aunque difícil de cuantificar, en la reducción de la mortalidad atribuida a las olas de calor:

En la figura siguiente, se muestra el registro de temperaturas máximas de disparo de la mortalidad diaria en las capitales de provincia españolas en el periodo 2000-2009. Las grandes diferencias en las temperaturas a partir de las cuales se dispara la mortalidad asociada al calor en ellas reflejan la existencia de diferentes “culturas del calor” y resalta el papel esencial que juegan los mecanismos de adaptación para limitar los riesgos asociados al clima.

FIGURA B.9 Temperaturas máximas de disparo de la mortalidad diaria (2000-2009)



Fuente: VVAA (2015)³¹

³¹ Díaz Jiménez, J., Carmona Alférez, R., Linares Gil, C. (2015). *Temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad atribuible al calor en España en el periodo 2000-2009*. Instituto de Salud Carlos III, Escuela Nacional de Sanidad: Madrid.

Según estudios científicos recientes, en un escenario de altas emisiones, en ausencia de nuevas medidas de adaptación (es decir, considerando que los umbrales de disparo de mortalidad estimados previamente para cada una de las capitales de provincia españolas se mantuvieran invariables) se estima que, en el periodo 2021-2050, las olas de calor podrían provocar más de 1.400 muertes/año. Sin embargo, una adaptación adecuada podría reducir esa cifra hasta aproximadamente 650 muertes/año³² (menos de la mitad).

El sector asegurador tiene un papel fundamental en la respuesta frente al cambio climático, al constituir una vía para la transferencia y distribución de los riesgos.

B.2.5.1 Protección civil

La Estrategia Nacional de Protección Civil³³ identifica el cambio climático como uno de los principales factores “potenciadores del riesgo” en España, destacando en concreto su relación con el agravamiento de las olas de calor y las sequías y con las condiciones meteorológicas que propician los grandes incendios forestales.

Este reconocimiento abre el paso a una integración efectiva del enfoque de la adaptación en las políticas públicas de protección civil, especialmente en materia de prevención. Los avances en este campo pasan por el desarrollo normativo de la Ley 17/2015, promoviendo la elaboración de los correspondientes planes de protección civil, y en particular, la adopción de un Plan General Estatal de Protección Civil, que guarde la debida coherencia con las estrategias para la adaptación al cambio climático.

Asimismo, el Informe Especial del IPCC SR 1.5 (2018) apunta hacia una posible reducción en la disponibilidad de alimentos en la región del Sahel, el sur de África o la cuenca mediterránea, concluyendo que, incluso si los peores efectos del cambio climático logran ser evitados, esos cambios requerirán respuestas desde las políticas europeas de acción humanitaria y protección civil³⁴.

³² Díaz, J., Sáez, M., Carmona, R., Mirón, I.J., Barceló, M.A., Luna, M.Y., Linares, C. (2019). *Mortality attributable to high temperatures over the 2021-2050 and 2051-2100 time horizons in Spain: Adaptation and economic estimate*. Environmental Research, 172: 475-485.

³³ Orden PCI/488/2019, de 26 de abril, por la que se publica la Estrategia Nacional de Protección Civil, aprobada por el Consejo de Seguridad Nacional. <https://www.boe.es/boe/dias/2019/04/30/pdfs/BOE-A-2019-6348.pdf>

³⁴ EC (2018b). In-depth analysis in support of the Commission Communication COM (2018) 773. A Clean Planet for all. A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy (pág. 276).

B.3 IMPLICACIONES DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL EXTERIOR

Mientras que la mitigación del cambio climático es concebida como un reto global, tanto los impactos derivados del cambio climático como la adaptación han sido tradicionalmente percibidos como problemas de naturaleza regional o local. **Esta visión resulta sesgada para comprender la vulnerabilidad en un mundo intensamente conectado y globalizado³⁵.**

España se encuentra relacionada, de una u otra manera, con buena parte de la geografía planetaria. Como consecuencia de estas conexiones, los impactos derivados del cambio climático que se producen fuera del país acaban teniendo repercusión en el territorio nacional. Ya se ha comentado la especial exposición que tiene el arco mediterráneo al cambio climático, se produzca éste dentro o fuera de las fronteras europeas.

Los impactos del cambio climático pueden transmitirse a través de las siguientes rutas³⁶:

- ▶ **Flujos comerciales:** afectando a los precios y las cadenas de suministro.
- ▶ **Flujos financieros:** distorsionando los flujos de capitales públicos y privados.
- ▶ **Flujos humanos:** desencadenando migraciones y modificando los flujos turísticos.
- ▶ **Cambios geopolíticos:** afectando a las políticas de asistencia humanitaria, de defensa o de cooperación.

España se encuentra relacionada, de una u otra manera, con buena parte de la geografía planetaria. Como consecuencia de estas conexiones, los impactos derivados del cambio climático que se producen fuera del país acaban teniendo repercusión en el territorio nacional.

Por todo esto, es necesario conocer la naturaleza de los impactos del cambio climático que ocurren fuera del territorio español y que pueden tener efectos a nivel nacional. También es importante reforzar la cooperación internacional en materia de adaptación para avanzar hacia unas sociedades más resilientes frente al cambio climático en todo el mundo.

Algunos de los efectos que se pueden analizar para el caso español son:

- ▶ Las posibles modificaciones de las migraciones o de los flujos turísticos.
- ▶ Los riesgos sobre las cadenas de suministro de distintos sectores económicos, pero especialmente el agroalimentario (tanto importaciones como exportaciones).
- ▶ Apertura de nuevas rutas de transporte marítimo.
- ▶ Los riesgos asociados a las inversiones en países con elevada vulnerabilidad al cambio climático.

³⁵ Benzie, M., J. Hedlund and H. Carlsen (2016). *Introducing the Transnational Climate Impacts Index: Indicators of country-level exposure – methodology report. Working Paper 2016-07.* Stockholm Environment Institute: Stockholm.

³⁶ Benzie, M., T. y otros (2017). *Implications for the EU of cross-border climate change impacts*, EU FP7 IMPRESSIONS Project Deliverable D3A.2.

B.4 CONCLUSIONES

España está experimentando impactos relevantes derivados del cambio climático, que previsiblemente se van a agravar en el futuro a medida que la crisis climática avance. Considerar los cambios ya ocurridos y anticiparse a los proyectados es una necesidad ineludible. En este sentido, la incorporación de la dimensión adaptativa a esta estrategia resulta esencial.

La región mediterránea está sometida a un mayor estrés climático que otras zonas europeas. El clima de esta zona posee rasgos que han constituido un reto para las sociedades de la región: precipitaciones poco abundantes, periodos secos recurrentes derivados de la coincidencia de la estación cálida y la estación seca, elevadas temperaturas estivales, etc. Estos rasgos tienden a acentuarse como resultado del cambio climático, planteando importantes retos adaptativos. Será necesario, por lo tanto, que las políticas de adaptación sigan reforzándose a nivel de la UE.

Tampoco en España los impactos se distribuyen de manera uniforme en términos geográficos o sociales, por lo que pueden crear o acentuar desigualdades existentes. La adaptación también representa **una oportunidad para prevenir un incremento de las desigualdades.**

Las políticas sectoriales deben considerar los nuevos desafíos derivados de la crisis del clima y coordinarse para dar respuestas integradas a desafíos como la gestión del agua, la degradación de las tierras, la desertificación o la protección de la salud de las personas. Dada la amplitud y la profundidad del reto, la adaptación solo puede abordarse eficazmente si se convierte en un reto socialmente compartido.

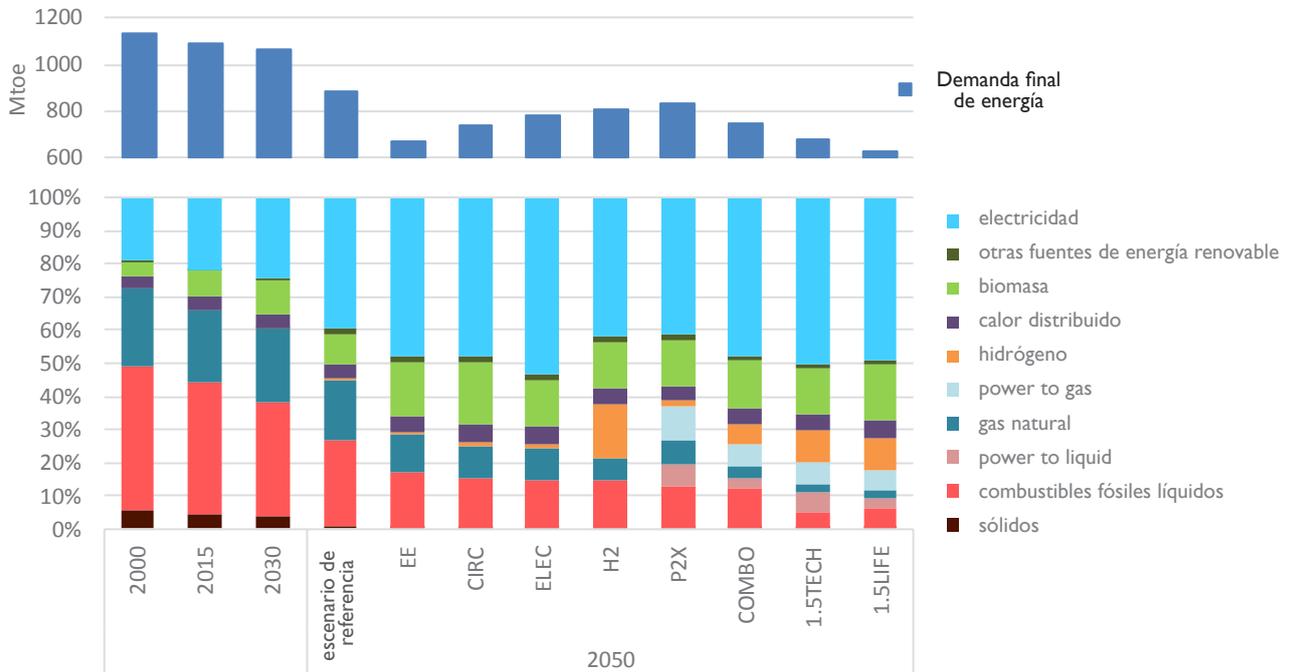
Finalmente, **la adaptación y la mitigación del cambio climático han de promoverse como políticas estables y complementarias.**

En los siguientes apartados se analiza el estado y la evolución prevista de los diferentes sectores, teniendo en cuenta las opciones tecnológicas disponibles para la transformación de los mismos, y los retos y oportunidades que provoca su descarbonización en 2050.

C.I SECTOR ELÉCTRICO

El sector eléctrico está llamado a desempeñar un papel central en la estrategia de descarbonización en el horizonte 2050. En primer lugar, por la penetración masiva de generación de origen renovable, lo que permitirá un significativo ahorro de costes, así como la eliminación prácticamente total de las emisiones en el sector. Y, en segundo lugar, por el avance en la electrificación de los distintos sectores económicos (transporte, edificación, industria...) como vía para lograr la descarbonización de los mismos.

FIGURA C.I Consumo de Energía final para el conjunto de la UE en el horizonte 2050 según los escenarios de la Comisión Europea



Fuente: Eurostat (2000-2015), PRIMES

A este último respecto, la Comisión Europea³⁷, en su análisis a largo plazo, establece ocho escenarios de opciones estratégicas. En todos ellos se aprecia que la aportación del sector eléctrico es fundamental y con una trayectoria creciente en el horizonte estudiado, alcanzando ratios de consumo de electricidad sobre la energía final en 2050 que pasan del 22% en 2015 y el 29% en 2030 hasta entre el 41% (escenario P2X) y el 53% (escenario ELEC). Es decir, una mayor electrificación de la economía será un elemento clave para alcanzar los ambiciosos objetivos que se ha marcado la UE para el año 2050.

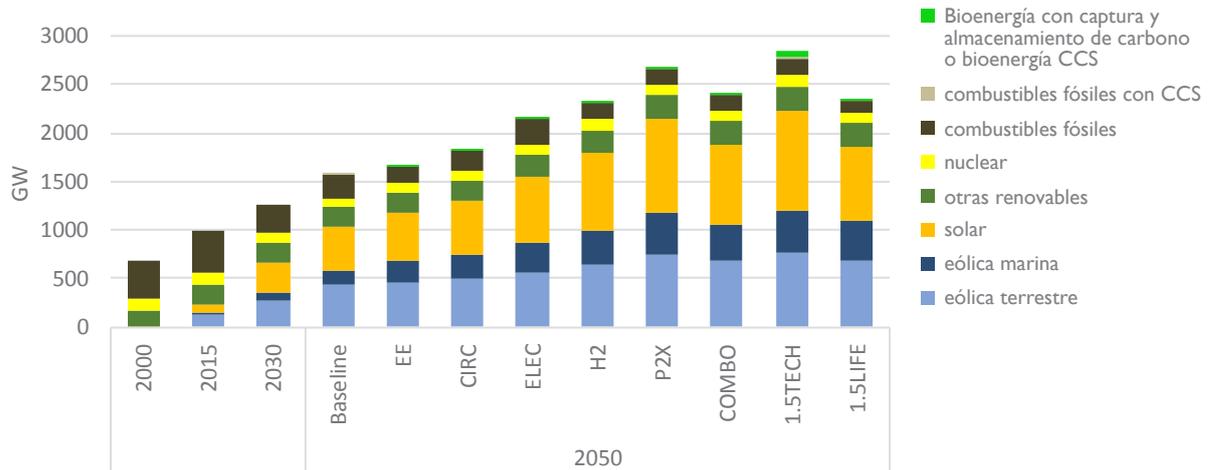
³⁷ Se han utilizado las figuras 20 y 24 del informe:

IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM (2018) 773, 28 November 2018. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf

ANEXO C. DESCARBONIZACIÓN SECTORIAL

Con respecto a la participación de las renovables en la generación de electricidad, las estimaciones de la Comisión Europea para los mencionados escenarios muestran un significativo avance en 2050, con aportaciones entre el 81 y el 85% en todos los escenarios, frente al 30% de 2015 y el 57% previsto para 2030 para el conjunto de toda la UE.

FIGURA C.2 Capacidad de generación eléctrica para el conjunto de la UE en el horizonte 2050 según los escenarios de la Comisión Europea



Fuente: Eurostat (2000-2015), PRIMES

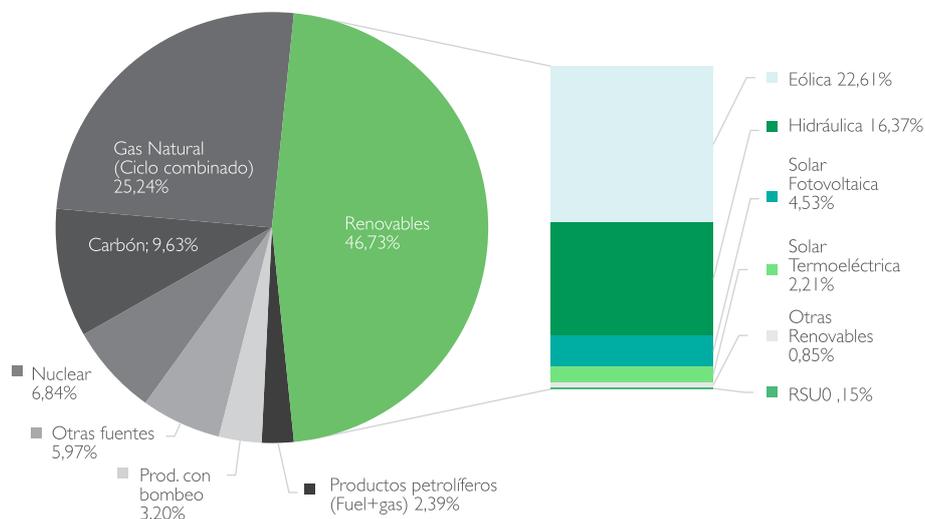
C.1.1 Situación Actual

La capacidad de generación del sistema eléctrico español se situó a finales de 2018 en 104.094 MW, de los cuales el 47% corresponden a instalaciones de energías renovables.

Por lo que se refiere a la generación neta de energía eléctrica, se alcanzaron los 268.867 GWh en ese año.

La estructura de potencia correspondiente se presenta en la figura siguiente:

FIGURA C.3 Estructura de generación eléctrica³⁸ 2018



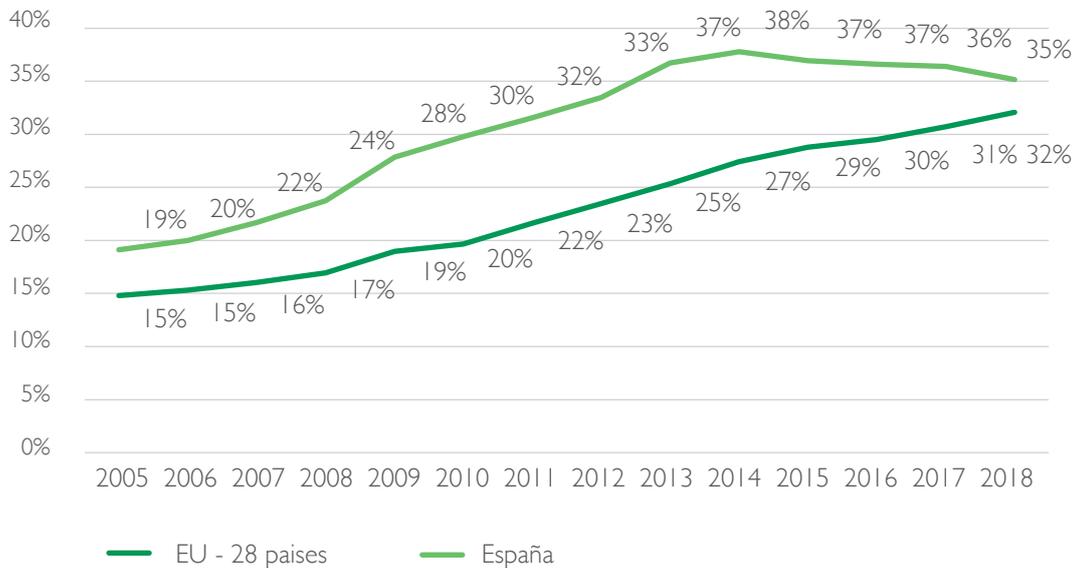
Fuente: Basado en Informe del sistema eléctrico español 2018, REE

³⁸ Otras fuentes incluyen Térmica no renovable/Cogeneración y resto/Cogeneración, Residuos no renovables. Otras renovables incluyen biogás, biomasa, hidráulica marina, hidroeléctrica y geotérmica. Hidráulica incluye convencional y mixta.

Las emisiones de sector eléctrico ascendieron dicho año a 64 millones de toneladas de CO₂ equivalente, el 18% del total. La composición del mix de producción condiciona las variaciones de las emisiones de CO₂ asociadas.

La participación de las renovables en la generación eléctrica, corregido el efecto de la hidraulicidad, se situó en 2018 en el 35,2% por encima de la media europea, que se situó en el 32,1% de generación eléctrica renovable. La siguiente figura muestra la evolución del peso de las energías renovables en la generación de energía eléctrica en España con respecto a la media europea.

FIGURA C.4 Cuota de energía renovable en la generación eléctrica



Fuente: EUROSTAT

En este avance destacan hitos como el Centro de Control de Energías Renovables (CECRE) de Red Eléctrica de España, que ha permitido una penetración de las energías renovables muy elevada, y siempre en condiciones de seguridad. El año 2019 ha alcanzado un pico de cobertura de la demanda con energías renovables por encima del 75% (03/11/2019 a las 5:20 am).

Esta elevada capacidad de integración de la producción eléctrica de origen renovable junto con la reciente, pero cada vez mayor, participación de las renovables eléctricas en los mercados de ajuste del sistema eléctrico, y considerando también la bajada de costes de instalación de estas tecnologías, muestran el excelente punto de partida de España para seguir incrementando de forma notable dicha participación y dando así pasos importantes hacia la plena descarbonización del mismo en 2050.

C.1.2 Horizonte 2030

El PNIEC 2021-2030 presenta los pasos hacia la descarbonización de la economía a lo largo de la próxima década. Según las previsiones del Plan, consigue una reducción muy relevante de las emisiones del sector de generación eléctrica en ese período. Asimismo, alcanza un 74% de producción eléctrica renovable en 2030.

Este desarrollo será consecuencia del grado de madurez tecnológica que ya muestran las distintas tecnologías de generación de energía eléctrica renovable y que, en muchos casos, ya son capaces de generar electricidad por debajo de los actuales precios del mercado. Para ello es necesario un significativo volumen de inversión que no solo se dirigirá a las propias instalaciones de generación renovable, sino también a otros elementos del sistema eléctrico.

Para el periodo entre 2030 y 2050 el incremento en la potencia instalada renovable ya no será tan elevado cuantitativamente como en esta década, pero su integración en el sistema eléctrico será más compleja.

La necesidad de evitar elevados vertidos de generación renovable, mantener la calidad del suministro eléctrico e integrar un gran volumen de generación distribuida, requerirá una serie de desarrollos tecnológicos, normativos y sociales que se abordan en el siguiente apartado.

C.1.3 Horizonte 2050

La configuración del sistema eléctrico en el año 2050 será altamente dependiente de las futuras disrupciones tecnológicas, de los objetivos y compromisos asumidos en el ámbito de una transición hacia una economía hipocarbónica, de la aparición de nuevos modelos de negocio y la creciente concienciación social.

No es, por tanto, posible hacer una previsión de la caracterización exacta del sistema eléctrico dentro de tres décadas. Sin embargo, sí se pueden identificar las principales tendencias transformadoras del sistema eléctrico, principalmente: la incorporación de nuevas tecnologías de generación renovable, el almacenamiento masivo, el autoconsumo (compartido o no), las comunidades locales de energía, la agregación de la demanda, la descentralización de las actividades, la digitalización, la inteligencia artificial y el acoplamiento de los sectores.

C.1.3.1 Gestión de la demanda

Una de las transformaciones más relevantes tanto a corto como a largo plazo será la participación de la demanda en el mercado eléctrico.

En particular, la nueva regulación europea de mercado interior³⁹ ya incentiva la respuesta de la demanda. En aplicación de dicha normativa el mercado evolucionará hacia un diseño que proporcione señales de precios eficaces a través de las cuales se garantice la participación activa de la demanda y la posibilidad de su agregación.

Junto con los cambios en el comportamiento de las personas y empresas, se requerirán tecnologías que permitan dicha participación de la demanda en el mercado, como comunicaciones de alta velocidad y baja latencia, medida y gestión remota, servicios de agregadores de demanda, entre otras cosas.

³⁹ Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE y Reglamento (UE) 2019/943 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, relativo al mercado interior de la electricidad.

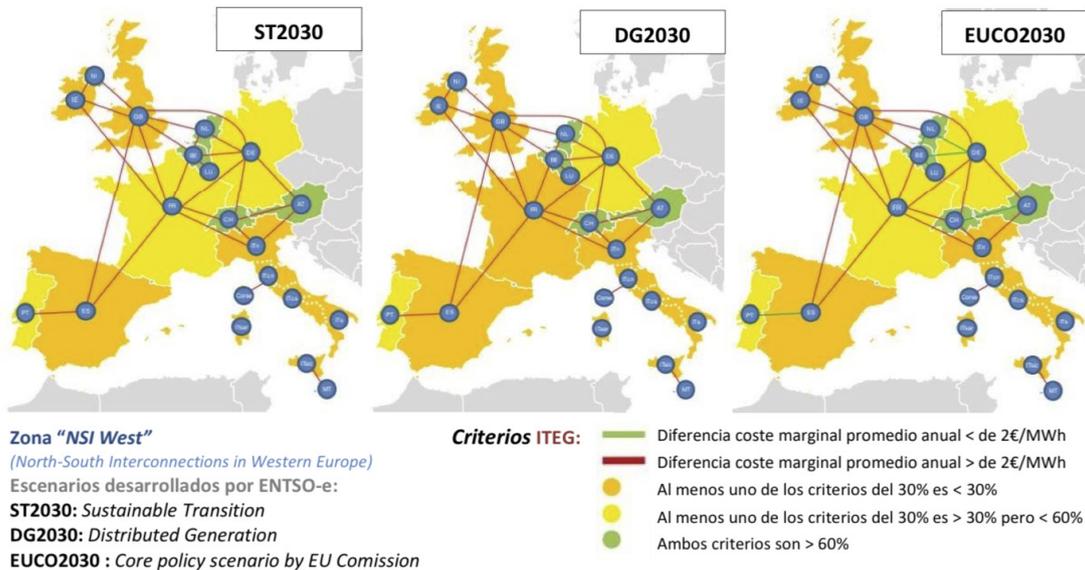
C.1.3.2 Interconexiones

En el caso de España también será muy relevante, al menos a corto y medio plazo, el aumento de la capacidad de interconexión con el resto de Europa. El incremento de la capacidad de interconexión permitirá incrementar la seguridad de suministro en un momento especialmente crítico por la mayor penetración de energías renovables no regulables y de naturaleza intermitente.

Las interconexiones también permitirán reducir los vertidos una vez que la capacidad de producción renovable supere a la demanda, mejorando la rentabilidad de estas energías y facilitando una mayor implantación de las mismas.

Tal y como se aprecia en la siguiente figura, la Península Ibérica sigue apareciendo como deficitaria en su nivel de interconexión con el continente, según la recomendación de los expertos de ENTSO-e para fijar los criterios de interconexión después de 2020⁴⁰.

FIGURA C.5 Capacidades de intercambio de energía eléctrica⁴¹



Fuente: ENTSO-e - TYNDP 2018 Regional Insight Report North-South Interconnections West

Aunque existe el objetivo europeo de alcanzar una capacidad mínima de 10% de interconexión entre los miembros de la UE para el año 2020 (el 15% en 2030), España está muy lejos todavía de esas cifras. La Declaraciones de Madrid (2015) y de Lisboa (2018) suscritas por España, Francia, y la Comisión Europea incluyeron el compromiso de una nueva interconexión con Francia en 2025 por la Bahía de Vizcaya, proyecto que se encuentra ya en ejecución, así como dos proyectos adicionales en la zona central de los Pirineos que deberían entrar en funcionamiento antes de 2027.

No obstante, más allá de 2030, deberán acometerse los oportunos análisis sobre los niveles de interconexión que resulten técnica y económicamente idóneos en el marco de la integración del Mercado Eléctrico comunitario y en función del cumplimiento de los diversos Planes Nacionales de Energía y Clima de los distintos países europeos.

⁴⁰ En 2017, un grupo de expertos (ITEG) propuso reemplazar el criterio del 15% de capacidad de interconexión sobre la potencia instalada por una nueva metodología basada en 3 criterios: diferencia de precios de mercado <2€/MWh, capacidad de interconexión >30% de la demanda pico y capacidad de interconexión >30% de la generación pico.

⁴¹ En este análisis, escenarios 2030 con la red 2020, el refuerzo de la interconexión entre Portugal y España se ha considerado ya operativa, a pesar de que actualmente la puesta en servicio del proyecto está prevista para 2021.

C.1.3.3 Gestión de redes

En el Escenario de Neutralidad Climática, el diseño y explotación de las redes de transporte y distribución deberá hacer frente a retos importantes como la existencia de una mayor generación distribuida y con niveles de intermitencia muy superiores a los actuales, así como la transformación del modelo tradicional de flujos de energía unidireccionales desde los centros de generación hacia un modelo de flujos bidireccionales y cambiantes.

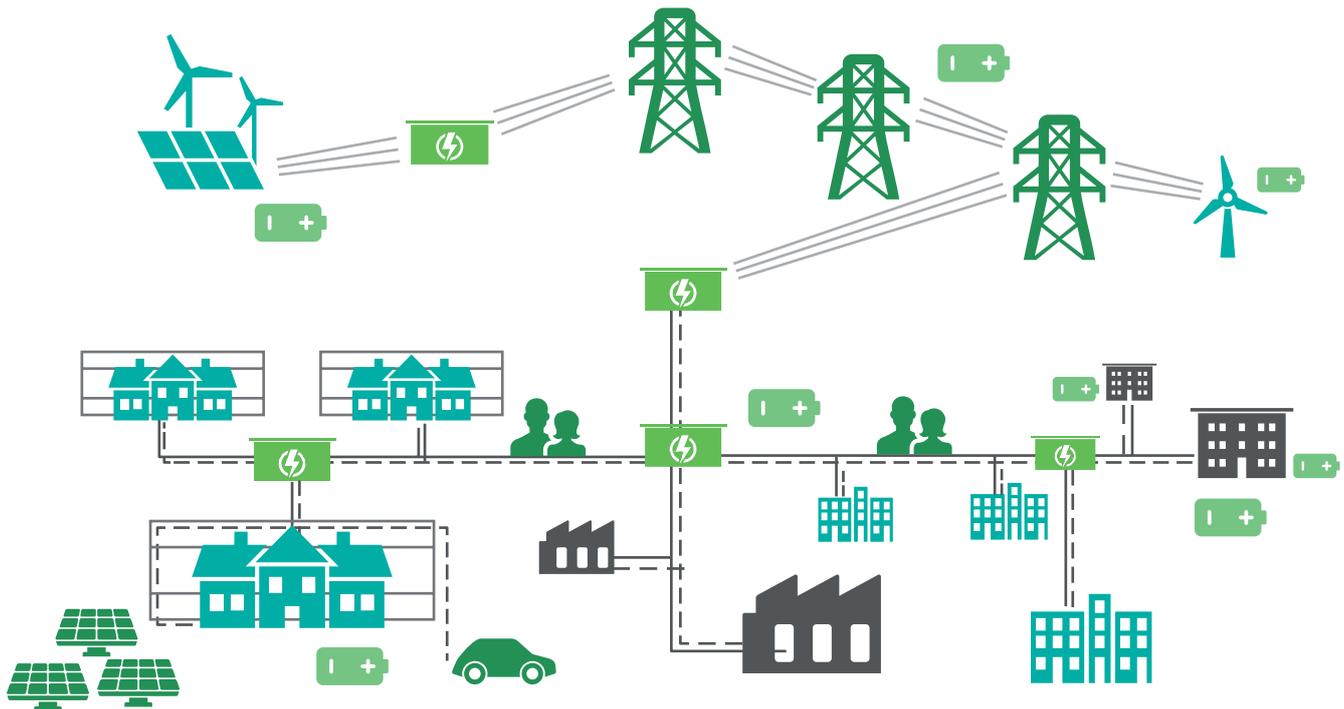
Se deberán impulsar tecnologías para una operación flexible y segura de un sistema eléctrico 100% renovable. Así, el despliegue masivo de la electrónica de potencia u otras tecnologías, permitirá una gran introducción de tecnologías asíncronas, tanto en el lado de la generación como en el de la demanda.

La digitalización, la coordinación entre transporte y distribución de energía eléctrica, así como el papel más activo de los consumidores, convirtiéndose en prosumidores, serán aspectos clave a tener en cuenta en el desarrollo de este sector.

C.1.3.4 Almacenamiento

Por último, merece una mención especial el almacenamiento, tecnología fundamental frente a un despliegue masivo de las renovables que sea compatible con una operación segura del sistema eléctrico. Conviene aclarar que el almacenamiento es un concepto amplio y con diversos matices, cuyo análisis requiere de ciertas precisiones previas.

FIGURA C.6 Almacenamiento, redes y hogares



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

Este servicio puede ser ofrecido por distintas tecnologías, algunas ya maduras y otras todavía compitiendo por avanzar en sus curvas de aprendizaje, mejorando sus prestaciones y competitividad en costes. Así, al almacenamiento con bombeo hidráulico y los almacenamientos térmicos con sales fundidas, se le están uniendo las baterías (de distintas tecnologías), el que utiliza como vector energético el hidrógeno u otras variantes de producción de gases renovables, así como otras soluciones muy innovadoras que están siendo estudiadas en diversos países desde las fases conceptuales hasta fases piloto. Estas tecnologías presentan muy distintos niveles de madurez y de competitividad.

Servicios de red

Los servicios de ajuste de la red eléctrica, como la regulación de frecuencia, la regulación de tensión, la reserva rodante, la regulación secundaria o la potencia adicional a subir, pueden ser cubiertos de forma eficiente por las distintas tecnologías de almacenamiento.

Es previsible que la importancia y el valor económico de estos servicios se incrementen al aumentar la tasa de penetración de renovables.

Algunas de estas aplicaciones requieren elevadas potencias durante periodos muy cortos de tiempo, mientras que otras requerirán de frecuentes ciclos de carga y descarga, de manera que cada uno de estos servicios podrá cubrirse con diferentes tecnologías de almacenamiento.

Tras el contador

También existe un gran potencial de desarrollo del almacenamiento en el cliente, “tras el contador”, asociado o no al autoconsumo, que permitirá a los consumidores optimizar su factura eléctrica al poder ajustar mejor su contratación de necesidades de red.

De hecho, los estudios de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) prevén que esta modalidad puede ser el segmento de mayor crecimiento para el almacenamiento con baterías fijas hasta 2030.

Existe un gran potencial de desarrollo del almacenamiento en el cliente, “tras el contador”, asociado o no al autoconsumo, que permitirá a los consumidores optimizar su factura eléctrica al poder ajustar mejor su contratación de necesidades de red.

Apoyo a la generación

Por su parte, el almacenamiento asociado a la generación térmica “in situ” permite mejorar sus curvas de respuesta y ofrecer mejores servicios de regulación. A su vez, en el caso de la generación renovable no gestionable, como la eólica o fotovoltaica, el almacenamiento permite optimizar la capacidad de evacuación conjunta en la red, al convertir a estas tecnologías en gestionables. El mejor ejemplo de tecnologías de almacenamiento situado en la generación son las plantas solares térmicas, muchas de las cuales disponen de almacenamiento térmico en sales fundidas que les permite superar los transitorios de irradiación solar, así como prolongar la generación eléctrica.

Almacenamiento diario

Todos los servicios anteriores van a desempeñar un papel relevante en el medio y largo plazo del sistema eléctrico. Además de la necesaria firmeza y flexibilidad de operación del sistema, servicios en los que podrá participar el almacenamiento compitiendo con la generación y la demanda, el sistema eléctrico ibérico necesitará disponer de un elevado contingente de almacenamiento en dos horizontes temporales: estacional y diario.

Almacenamiento estacional

Por su parte, el almacenamiento estacional se refiere a la variabilidad de la generación dentro del año y a la variabilidad interanual.

Con las tecnologías que se conocen en la actualidad, todo apunta a que será necesaria una combinación de soluciones de almacenamiento de energía, incluyendo el "Power to Gas", el bombeo hidráulico, el almacenamiento térmico, el hidrógeno u otras; además del almacenamiento que proporciona la hidráulica regulable.

Evolución de costes

Es preciso distinguir entre el momento en el que el almacenamiento de electricidad será esencial en la transición energética, de cuándo se convertirá en una oportunidad económica viable. Así, ya existen en la actualidad bombeos hidroeléctricos operando que son económicos y algunos nuevos proyectos de bombeo se sitúan en el límite de la rentabilidad.

La energía termosolar con almacenamiento ha evolucionado positivamente en sus costes, no obstante, a precios actuales de mercado, no resulta todavía rentable si el almacenamiento no tiene un valor económico más elevado.

Las baterías, por su parte, aunque están disminuyendo sus costes muy rápidamente, todavía no son competitivas para la mayoría de las aplicaciones. No obstante, existen algunos nichos, como ciertos servicios de red o el uso "behind the meter", donde cada vez están más cerca de ser una opción económica viable.

El potencial para la reducción de coste de las tecnologías emergentes es muy significativo. De acuerdo con un estudio de la Agencia Internacional de Energías Renovables⁴² el coste total de instalación de las baterías de iones de litio (Li-Ion) para uso estacionario podría reducirse entre un 54% y un 61% hasta 2030.

En todo caso, la rentabilidad depende en gran medida de la intensidad y el diseño de las señales de precios y mecanismos de mercado en los que pueda participar el almacenamiento. Por ello, es necesario que la regulación del mercado en las próximas décadas proporcione el marco y señales adecuadas para hacer alinear la rentabilidad de los distintos tipos de instalaciones con las necesidades del sistema.

El potencial para la reducción de coste de las tecnologías emergentes es muy significativo. De acuerdo con un estudio de la Agencia Internacional de Energías Renovables, el coste total de instalación de las baterías de iones de litio (Li-Ion) para uso estacionario podría reducirse entre un 54% y un 61% hasta 2030.

Evolución prevista para el almacenamiento

En la actualidad en España hay instalados 3,3 GW de bombeos puros y 2,7 GW de bombeos mixtos, además de la capacidad de generación hidráulica regulable.

En el horizonte 2030, el PNIEC prevé que entre en servicio una capacidad de almacenamiento adicional de 6 GW (con un mínimo de dos horas de almacenamiento a carga máxima), así como 5 GW nuevos de centrales solares térmicas con almacenamiento de sales fundidas, cuya composición y funcionamiento precisos se desarrollarán en función de la evolución y disponibilidad tecnológicas.

En resumen, la seguridad de suministro eléctrico se alcanza incrementando la capacidad de almacenamiento en torno a un 30% respecto al que habrá disponible ese año. Todo esto, considerando un escenario sin interconexiones internacionales adicionales a las ya previstas.

⁴² IRENA (2017): "Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030"

C.I.4 Retos y oportunidades

Cambios de la regulación

El despliegue de las tecnologías de almacenamiento va a requerir el establecimiento de marcos regulatorios sectoriales que proporcionen las señales económicas adecuadas para acometer estas inversiones. Así, será necesario rediseñar los servicios actuales o regular nuevos para la operación de sistema. Dado que actualmente estos servicios están enfocados a la operación flexible de centrales basadas en combustibles fósiles y en el futuro estos servicios serán proporcionados por energías renovables, por el almacenamiento en alguna de sus formas, así como por la gestión de la demanda.

Todo ello, determinado por los análisis de capacidad realizados por el operador del sistema en los distintos horizontes temporales e integrado en los mecanismos de capacidad de conformidad con los principios establecidos en la normativa europea del mercado interior de electricidad.

Dada la rápida evolución tecnológica prevista y la potencial diversidad de distintas soluciones que puede conllevar, el objetivo es dotarse de una regulación para fomentar adecuadamente el desarrollo de los mecanismos de flexibilidad, a la vez que ofrece la suficiente certidumbre a largo plazo para movilizar las inversiones necesarias.

El objetivo es dotarse de una regulación para fomentar adecuadamente el desarrollo de los mecanismos de flexibilidad, a la vez que ofrece la suficiente certidumbre a largo plazo para movilizar las inversiones necesarias.

En concreto, para compatibilizar la prudencia que debe caracterizar toda nueva regulación con la necesidad de facilitar nuevos desarrollos, se plantean nuevos mecanismos como los bancos de pruebas regulatorios o “sandboxes”, que ya empiezan a desarrollarse en diversos países europeos tomando como ejemplo las experiencias en el mundo de las tecnologías financieras “fintech”, y que han sido incluidos en el PNIEC.

También resultará fundamental asegurar la coordinación regulatoria y un correcto diseño institucional y de gobernanza.

Otro reto reseñable es la necesidad de regular simultáneamente los aspectos micro con una visión macro del sistema eléctrico y energético. Así, se requiere regular el sistema eléctrico paneuropeo, interconectado, con influencia mutua y con un mercado interior común entre los Estados miembros y, al mismo tiempo, permitir el desarrollo de mercados a muy pequeña escala de comunidades locales y autoconsumo con posibilidad de almacenamiento y prestación de servicios al sistema en mercados locales, asegurando el suministro en todo momento a precios eficientes.

Asimismo, la sociedad debe percibir que las infraestructuras eléctricas existentes se usan de una manera adecuada, por lo que es necesario optimizar su uso, maximizando la capacidad de los corredores eléctricos e introduciendo una gestión dinámica de la red que permita aumentar las capacidades efectivas de evacuación y transporte.

También resulta fundamental introducir mecanismos de corrección y minimización de los efectos ambientales adversos de los proyectos renovables, divulgar los beneficios entre la sociedad y diseñar mecanismos de redistribución de los mismos entre los colectivos que se ven más directamente afectados por estas instalaciones, así como la propia participación activa de la ciudadanía en el cambio de modelo (esta medida ya se incluye en el PNIEC).

Oportunidades industriales y económicas

El proceso de descarbonización del sector eléctrico lleva asociado grandes oportunidades e importantes ventajas para nuestra economía y nuestro tejido empresarial, especialmente en la medida que seamos capaces de anticiparnos a nivel tecnológico, regulatorio e industrial.

El desarrollo del autoconsumo renovable, la descentralización de la generación de energía eléctrica, la instalación de nuevas plantas de generación, y el resto de actuaciones recogidas en el PNIEC y en el presente documento, tendrán un importantísimo desarrollo en los próximos años a la vez que presentan unos impactos muy positivos.

Presentan un impacto económico positivo, tanto desde el punto de vista del incremento del PIB como del crecimiento del empleo. Y también un impacto en la salud debido a la reducción de la contaminación ambiental local, lo que redundará en un aumento en la calidad del aire en España.

En este sentido, España es una potencia industrial en la fabricación de equipos para la generación de energía renovable, especialmente en los ámbitos eólico y termosolar, y ha de aprovecharlo para facilitar el despliegue de instalaciones de generación de energía eléctrica renovable, necesario para cumplir los objetivos de descarbonización.

Las energías renovables no son el único sector que ofrece oportunidades de futuro en el ámbito de la descarbonización. El almacenamiento con baterías, si bien está mucho menos desarrollado a nivel nacional que en los competidores asiáticos, también presenta numerosas oportunidades, especialmente en las tecnologías que vayan más allá del Li-Ion. En ese sentido, se están empezando a desarrollar iniciativas a nivel europeo para reducir nuestro diferencial en el desarrollo de baterías con los países asiáticos.

También existe a nivel europeo una plataforma de cooperación regional centrada en materiales avanzados para baterías. Esta plataforma cuenta con 27 regiones europeas (entre ellas, Andalucía, Aragón, Castilla y León, Comunidad Valenciana, Navarra y País Vasco) y en la actualidad se han establecido seis proyectos pilotos (dos de ellos liderados por regiones españolas: “Sustainable Raw Material, Extraction and Processing”; así como “Liquid based-batteries, stationary”).

España es una potencia industrial en la fabricación de equipos para la generación de energía renovable, especialmente en los ámbitos eólico y termosolar, y ha de aprovecharlo para facilitar el despliegue de instalaciones de generación de energía eléctrica renovable, necesario para cumplir los objetivos de descarbonización.

El hidrógeno, por su parte, ha sido identificado por el *Strategic Forum for Important Projects of Common European Interest* (IPCEI) liderado por la Comisión Europea, como una de las nueve cadenas de valor estratégicas para Europa. Actualmente se trabaja en la definición de su plan de acción e iniciativas asociadas.

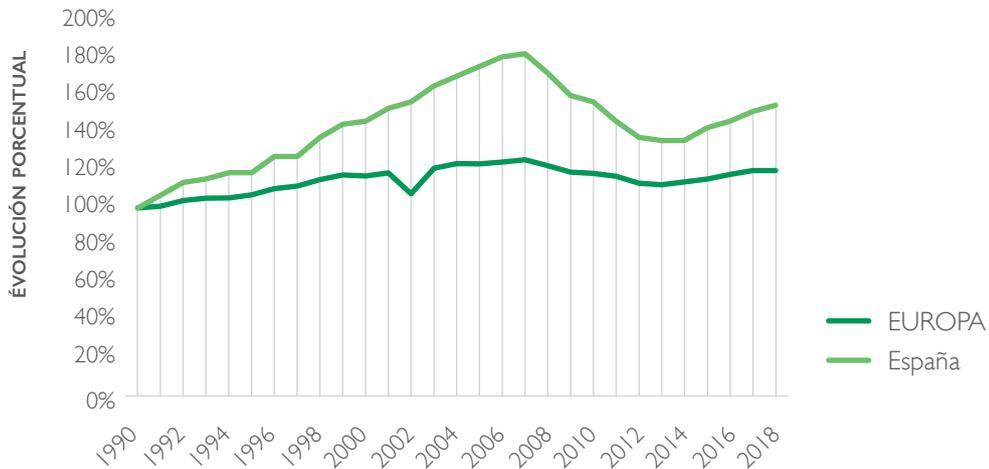
España participó en la firma de la Iniciativa del Hidrógeno en el Consejo Informal de Ministros de energía, celebrado en septiembre de 2018 para impulsar esta tecnología, un campo con presencia española en diversos proyectos tanto estatales como autonómicos.

C.2 MOVILIDAD SOSTENIBLE Y TRANSPORTE

C.2.1 Situación actual

El sector del transporte y la movilidad en España representó en 2018 un consumo del 43%⁴³ de la demanda de energía final, siendo el responsable del 27% de las emisiones de CO₂eq⁴⁴ en el año 2018 (en la UE fueron el 22%). Como se observa en la siguiente figura, las emisiones GEI del sector del transporte en España han crecido un 50% desde 1990, mientras que en la UE este incremento ha sido del orden del 20%.

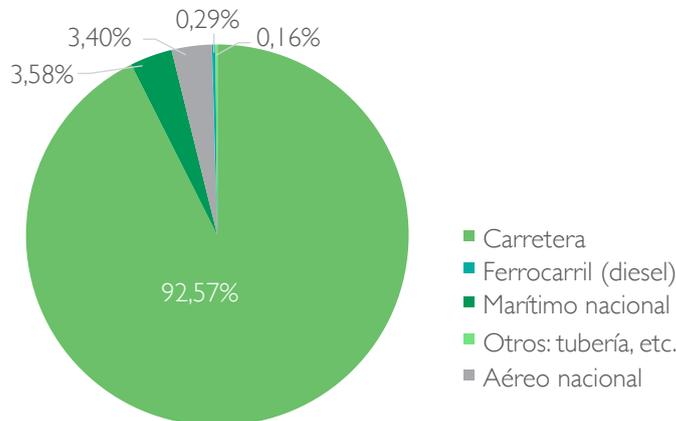
Figura C.7 Comparativa evolución de emisiones CO₂eq en el sector transporte entre España y la UE



Fuente: *Inventario Nacional de Emisiones y Agencia Europea de Medio Ambiente, 2018*

Ahora bien, el importante avance tecnológico que está teniendo lugar, la implementación de sistemas inteligentes de transporte, y el cambio en los comportamientos de las nuevas generaciones, permiten ser optimistas sobre el progreso hacia una movilidad menos emisora, inteligente, conectada, accesible y compartida.

FIGURA C.8 Reparto de emisiones de GEI del sector transporte por modos



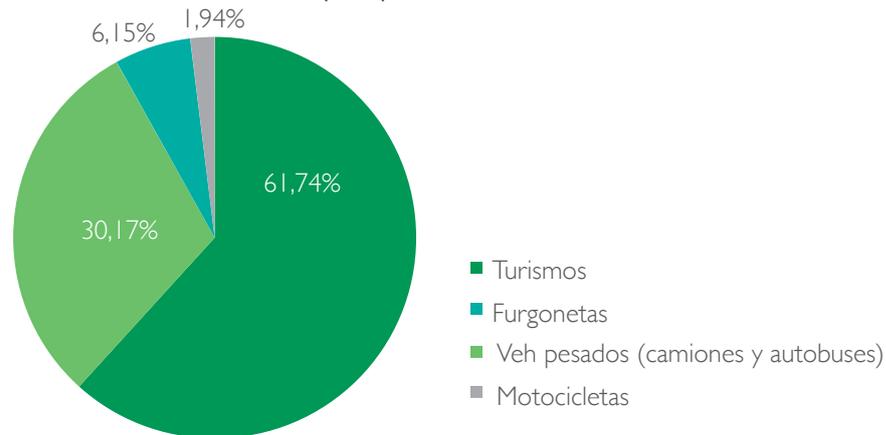
Fuente: *Inventario Nacional de Emisiones, 2018, MITECO*

⁴³ Energía en España, 2018.

⁴⁴ Inventario Anual de emisiones 2017, OECC.

ANEXO C. DESCARBONIZACIÓN SECTORIAL

FIGURA C.9 Reparto de emisiones de GEI en carretera por tipos de vehículos

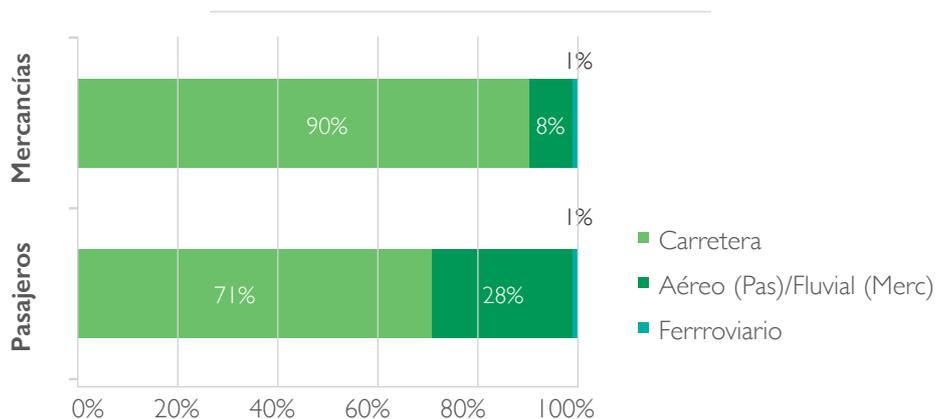


Fuente: *Inventario Nacional de Emisiones, 2017, MITECO*

Como se puede ver en las figuras anteriores, el transporte por carretera es el gran responsable del incremento de las emisiones de GEI en España, habiendo experimentado un aumento de un +1,4% entre los años 2017 y 2018, debido principalmente al incremento de las emisiones del transporte por carretera. Se puede observar también, el detalle del reparto de emisiones de GEI por tipos de vehículos.

En relación al consumo de energía final, según datos del Informe de Energía en España, el sector transporte representa un 43% del de España, dependiendo en un 94% de los productos petrolíferos. El transporte por carretera representó en 2018 el 77% del consumo de energía final en España, con un consumo de tráfico de pasajeros del 71% y de mercancías del 90%, según se muestra en la siguiente figura.

FIGURA C.10 Consumo de energía según modos de transporte en mercancías y pasajeros 2018



Fuente: *Energía en España 2018, MITECO*

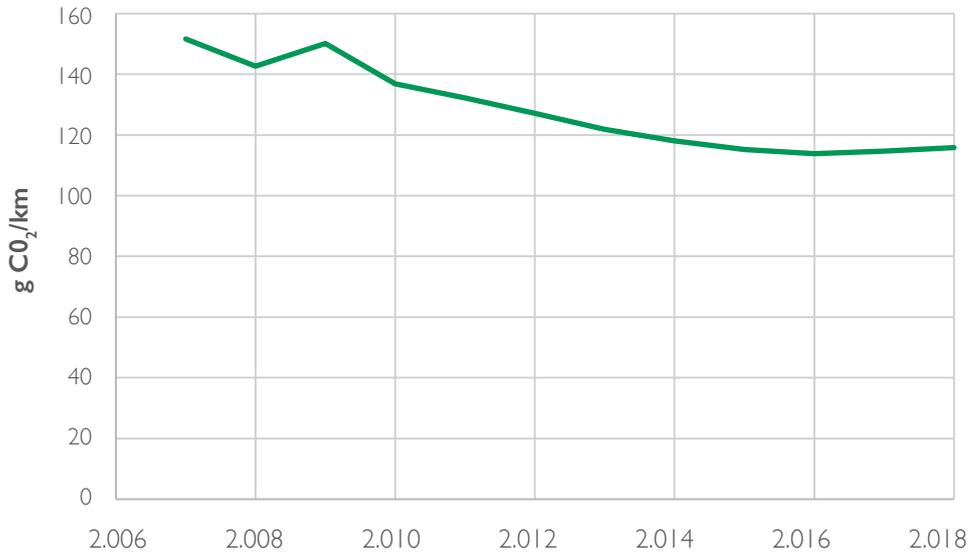
Respecto del transporte por carretera, un análisis más detallado reflejado en el Observatorio del Transporte y la Logística⁴⁵, del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), informa que cerca del 42% del consumo de energía final del transporte por carretera se realiza en medio urbano (mercancías y pasajeros) y un 57% en medio no urbano.

⁴⁵ http://observatoriortransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/6E4A3024-B5BA-4AAD-BE1A-AF04D6A62A6E/151258/INFORME_OTLE_2018.pdf

Los datos expuestos nos permiten constatar la relevancia del transporte por carretera, tanto en el consumo de energía final como en las emisiones de GEI.

Es importante mencionar el esfuerzo que la industria de fabricación de automóviles ha realizado para alcanzar reducciones progresivas de emisiones de CO₂ en los vehículos turismos nuevos, a fin de cumplir con el Reglamento (CE) 443/2009, por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones. La siguiente gráfica muestra la evolución de las emisiones de CO₂ de los turismos nuevos.

FIGURA C.11 Evolución de las emisiones de CO₂ de los turismos nuevos



Fuente: Dirección General de Tráfico, 2017, Ministerio del Interior

Se impone, en consecuencia, seguir actuando con medidas contundentes de eficiencia y diversificación, no solo para alcanzar la descarbonización, sino para mejorar la competitividad con los países de nuestro entorno.

La mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte-movilidad, presenta las siguientes particularidades:

- ▶ Las fuentes de emisión son difusas, es decir son focos dispersos. El vehículo privado representa en España el 15% del consumo de energía final.
- ▶ Presenta una muy alta dependencia (94%) de los combustibles fósiles, principalmente derivados del petróleo.
- ▶ Es necesario desacoplar el crecimiento económico y el aumento en el número de habitantes, de los incrementos en los tráficos de pasajeros y mercancías, así como del aumento de la ratio de vehículos en propiedad. De lo contrario, los efectos de las medidas de eficiencia energética o incluso de sustitución de combustibles, se verían anuladas por el mayor número de pasajeros-km y ton-km derivados del crecimiento económico y del aumento de la población.

C.2.2 Horizonte 2030

A efectos de alcanzar la descarbonización del sector transporte en el año 2050, se parte de la situación prevista para el año 2030 por el PNIEC. Esto incluye una reducción de emisiones del entorno del 30% respecto a la actualidad, así como una reducción de la cuota de productos petrolíferos en el consumo de energía final.

Adicionalmente, en el año 2030, se prevé alcanzar una cuota del 28%⁴⁶ de energía renovable en el transporte, principalmente vía electrificación y biocarburantes.

Respecto a las políticas y medidas, según las previsiones del Plan, se estima que en la década 2021-2030, las actuaciones en eficiencia energética tendrán gran impacto en el descenso del consumo de energía final. Éstas incluyen políticas de cambio modal, medidas de incremento de eficiencia en el uso de los vehículos e introducción de vehículos nuevos más eficientes.

Por otro lado, la introducción de tecnologías alternativas descarbonizadas, serán las que tendrán mayor relevancia en el periodo 2030-2050, junto a la continua mejora de la eficiencia energética.

En el año 2030, se prevé alcanzar una cuota del 28% de energía renovable en el transporte, principalmente vía electrificación y biocarburantes.

C.2.3 Horizonte 2050

La descarbonización del sector vendrá de la mano de la intensificación de las medidas de eficiencia energética antes mencionadas, junto con la sustitución de los combustibles fósiles por otros productos de bajo contenido en carbono.

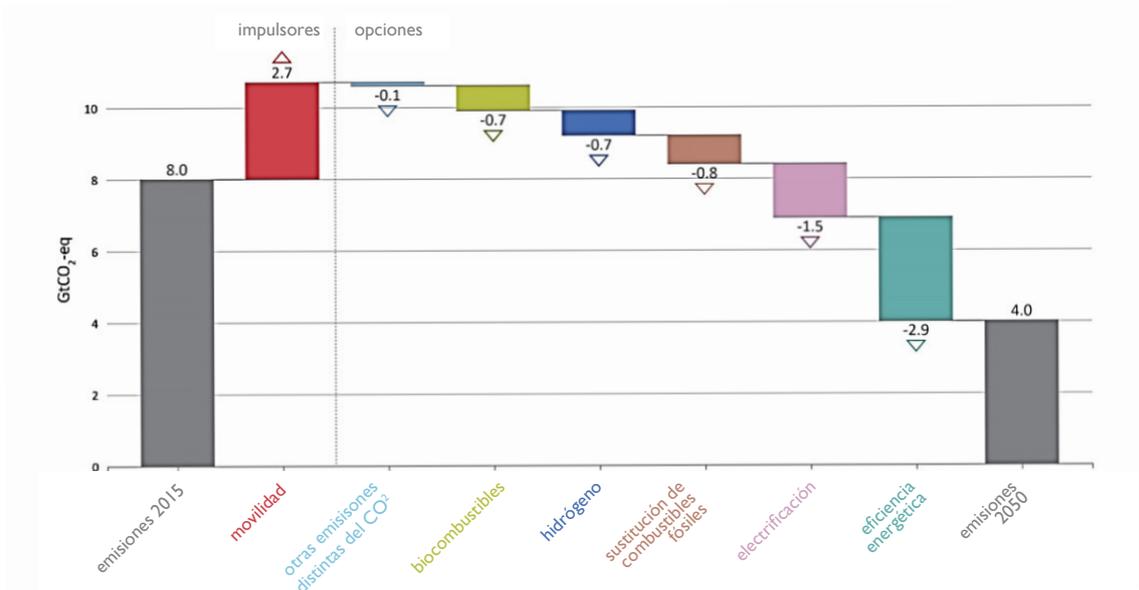
La electrificación del transporte por carretera será clave en un escenario de alta penetración de energías renovables en la generación eléctrica. Por su parte, el uso de combustibles renovables (tanto líquidos como gaseosos) lo será en los vehículos pesados, el sector aéreo y el marítimo. La implantación de las tecnologías respectivas vendrá determinada por la evolución de sus costes, que a su vez dependerá del ritmo de la innovación de las mismas.

El estudio realizado por el *Joint Reseach Center* (JRC) en 2018⁴⁷, presenta una estimación de la contribución de cada una de las tecnologías disponibles a día de hoy en la reducción de emisiones de GEI a nivel mundial.

⁴⁶ Dicho porcentaje está calculado de acuerdo con la metodología establecida en la Directiva (UE) 2018/2001 de Energías Renovables.

⁴⁷ *Global Energy and Climate Outlook 2018: Sectoral mitigation options towards a low-emissions economy*, JRC 2018.

FIGURA C.12 Opciones de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector Transporte (Periodo 2015-2050, a nivel mundial, escenario 2")



Notas: "Movilidad", aumento de las emisiones debido al crecimiento económico y de la población (pasajeros y mercancías); Hidrógeno, Biocombustibles, Electrificación: emisiones evitadas por el uso de estos combustibles (no se cuantifican las emisiones derivadas de producirlos); "Sustitución de combustibles fósiles" sustitución de derivados del petróleo por gas natural y gas natural sintético. Incluye transporte aéreo y marítimo.

Fuente: POLES, JRC 2018

Las tecnologías que se prevé tengan un papel más relevante para descarbonizar el sector transporte en 2050, son:

- ▶ **Medidas de eficiencia energética y cambio de los modos de movilidad.** Permiten mejorar la intensidad energética del sector y reducir el consumo de energía final, lo que facilitará una descarbonización a precios razonables. La introducción progresiva de soluciones de movilidad inteligente y conectada que fomenten la intermodalidad, la mayor eficiencia en los modos de transporte y las soluciones personalizadas de movilidad, integrando transporte privado y público, tendrán un papel fundamental.
- ▶ **Electrificación.** Tecnología clave en el sector por carretera para vehículos ligeros y transporte público urbano.
- ▶ **Vectores energéticos renovables**
 - ▶ **Líquidos.** Especialmente relevante para el transporte pesado de mercancías, la aviación y la navegación. Podrán ser de origen biológico (preferentemente generados a partir de residuos) o de origen no biológico fabricados mediante procesos Power to Liquid.
 - ▶ **Gases renovables,** entre los que se destacan:
 - ▶ **El hidrógeno** que podrá ser utilizado directamente en pila de combustible o como elemento intermedio en tecnologías Power to Gas y también en aplicaciones industriales que actualmente consumen H₂ no renovable.
 - ▶ **El biometano** producido a partir de biogás o por metanización de gas de síntesis obtenido de la gasificación de biomasa.

Es necesario tener presente que las alternativas basadas en combustibles líquidos usados en motores de combustión interna llevan asociadas emisiones de contaminantes locales, así como unos límites tecnológicos de eficiencia.

Para abordar la descarbonización del transporte-movilidad es necesario analizar separadamente los distintos modos: carretera, ferrocarril, aéreo y marítimo, ya que presentan características y problemáticas muy diferentes entre sí.

El nivel de penetración de cada una de las tecnologías disponibles vendrá dado por presentar la solución más eficiente en costes que satisfaga los requerimientos técnicos y de servicio de cada uno de los subsectores.

La descarbonización del sector Transporte vendrá de la mano de la intensificación de las medidas de eficiencia energética, junto con la sustitución de los combustibles fósiles por otros productos de bajo contenido en carbono.

C.2.3.1 Transporte por carretera

Se estima que, en 2050, el mayor porcentaje del consumo de energía del sector seguirá recayendo en el transporte por carretera.

Para desacoplar los tráficos de pasajero-km y las ton-km transportadas, del crecimiento económico y del número de habitantes, en las dos décadas comprendidas entre 2030-2050, se intensificarán las medidas que se prevén acometer entre 2021 y 2030, detalladas en el PNIEC, entre ellas las zonas urbanas de bajas emisiones, el impulso del transporte público y la movilidad compartida. Los avances en las TICs jugarán un papel importante pues ayudarán a gestionar la demanda y prestar servicios de movilidad ajustados a las condiciones reales del tráfico y de manera personalizada: movilidad inteligente y conectada.

Existe tecnología para descarbonizar al 100% este subsector; si bien, debido a la vida útil de los vehículos, la penetración de los híbridos, la mayor dificultad en la descarbonización de los vehículos pesados, en el año 2050 podrá permanecer un consumo residual de combustibles fósiles en el transporte por carretera.

A continuación, se enumeran con más detalle las actuaciones disponibles para avanzar en la descarbonización.

C.2.3.1.1 Medidas de mejora de la eficiencia energética en el sector transporte por carretera

Las medidas de eficiencia energética no solo apoyan la descarbonización, sino que mejoran la intensidad energética y el ahorro de energía, lo cual es clave para alcanzar los objetivos de descarbonización a un coste razonable. A continuación, se enuncian las principales medidas que favorecerán la mejora de la eficiencia energética en el sector transporte.

- ▶ Medidas que reduzcan las necesidades de movilidad a través del diseño urbanístico, así como la flexibilidad y movilidad laboral, mediante el uso intensivo de tecnologías como las videoconferencias, teletrabajo, administración electrónica, etcétera.
- ▶ Medidas de promoción del cambio modal desde el vehículo privado a otros modos más eficientes: transporte público, a pie, bicicleta y vehículo compartido. Será necesario, por un lado, contar con la mayor concienciación de la población y, por otro lado, mejorar la financiación del transporte público al objeto de dotarlo de mayor capilaridad, frecuencia y calidad de servicio, de manera que se facilite la intermodalidad. Asimismo, la progresiva implantación de soluciones de movilidad inteligente y conectada permitirá facilitar soluciones de movilidad que integren no solo la intermodalidad sino también el transporte privado con el transporte público.

- ▶ Medidas de cambio a uso de medios de transporte más eficientes. Actualmente, el motor más eficiente energéticamente es el motor eléctrico. Por lo que el paso a movilidad eléctrica no es únicamente un cambio de combustible, sino que también representa el cambio a una movilidad más eficiente en términos de energía consumida por km recorrido.
- ▶ Trasvase de mercancías de la carretera al ferrocarril, así como un trasvase de pasajeros del transporte aéreo al tren, aprovechando el despliegue de la alta velocidad ya realizado. El aumento de la cuota modal del transporte por ferrocarril permite reducir de forma significativa las emisiones de CO₂ por ton-km, ya que son entre 3 y 7 veces inferiores a las del transporte por carretera (dependiendo si la tracción del tren es diésel o eléctrica).
- ▶ Medidas de promoción de la movilidad compartida, tanto en medio urbano como interurbano, como solución de movilidad inteligente y conectada. La movilidad compartida en viajes (*car pooling*, *car-hiring*) permitirá especialmente desacoplar el crecimiento del parque de vehículos del crecimiento de la población y mitigar la congestión en las ciudades. Es importante precisar, no obstante, que mientras que las prácticas de uso compartido de un vehículo privado son siempre positivas en cuanto aumenta su ratio de ocupación, el car sharing puede ser en ocasiones un sustituto del transporte público.
- ▶ Mejora de la eficiencia energética de los motores de combustión (hibridaciones, frenos regenerativos, mejoras de diseño, materiales más ligeros,...), con mayor relevancia para los vehículos pesados, previéndose en ciertos estudios reducciones del 31%⁴⁸ del consumo por km en el periodo 2015-2030. Esta tendencia viene impulsada por los Reglamentos Europeos en materia de reducción de emisiones de CO₂ impuestas a los fabricantes de vehículos⁴⁹.

Las medidas de eficiencia energética en el sector del transporte por carretera no solo apoyan la descarbonización, sino que mejoran la intensidad energética y el ahorro de energía, lo cual es clave para alcanzar los objetivos a un coste razonable.

- ▶ Las aplicaciones de Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) se muestran como una solución viable para hacer el movimiento de personas y mercancías más eficiente en todos los modos. Implantación de sistemas de gestión de flotas que optimicen los consumos de acuerdo a la selección de rutas, cargas, tipo de vehículos y situación de tráfico de las vías y diseño de infraestructuras. Diseño de navegadores con rutas “Eco” o “Green navigators”, que tengan en cuenta estos criterios, frente a otros (ruta más corta o más rápida). El desarrollo del Big Data, con el 5G, permitirá dar mayor conectividad a los vehículos que podrán interactuar con la ciudad y las infraestructuras de transporte y permitirá un mayor nivel de automatización de los vehículos, lo que tendrá especial relevancia en los consumos y emisiones del transporte por carretera tanto de mercancías como de pasajeros.
- ▶ Promoción de la conducción eficiente y del mantenimiento de las pautas de conducción. Si bien la introducción progresiva de vehículos cada vez más autónomos, con grandes avances tecnológicos en sensorización y algoritmos de control, delegará estas decisiones al software de los mismos, es importante tener presente el criterio de conducción eficiente por parte de los propios fabricantes.

⁴⁸ *Global Energy and Climate Outlook 2018: Sectorial mitigation options towards a low-emissions economy*, JRC 2018.

⁴⁹ REGLAMENTO (UE) 2019/631 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de abril de 2019 por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de CO₂ de los turismos nuevos y de los vehículos comerciales ligeros nuevos, y por el que se derogan los Reglamentos (CE) n° 443/2009 y (UE) n° 510/2011.

REGLAMENTO (UE) 2019/1242 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 20 de junio de 2019 por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de CO₂ para vehículos pesados nuevos y se modifican los Reglamentos (CE) n° 595/2009 y (UE) 2018/956 del Parlamento Europeo y del Consejo y la Directiva 96/53/CE del Consejo.

C.2.3.1.2 Tecnologías alternativas a los combustibles fósiles en el transporte por carretera

Almacenamiento estacional

La electrificación del transporte, junto con un mix de generación renovable, se presenta como una tecnología de gran potencial de descarbonización más allá del horizonte del 2030, y la velocidad con que se produzca su penetración será clave para alcanzar los objetivos a 2050.

La mayor eficiencia del motor eléctrico según el análisis del ciclo de vida, “del tanque a la rueda”, del orden del 70-90%, frente al de combustión, del orden del 30-40%, permitirá mejorar la intensidad energética y reducir el consumo total de energía del sector. Incluso comparando eficiencias de análisis de ciclo de vida del pozo a la rueda, la eficiencia del vehículo eléctrico, con un mix de generación eléctrica renovable como el proyectado en España en el PNIEC 2021-2030, es superior a la del vehículo de combustión⁵⁰.

La penetración de la electrificación (eléctricos, híbridos e híbridos enchufables) en motos, turismos y furgonetas ligeras, se prevé exponencial debido a los desarrollos tecnológicos y al avance previsto en las baterías. Se estima que, como tarde en 2025 sean estas matriculaciones las que conozcan mayor implantación. La penetración vendrá además impulsada por la adopción de medidas de acompañamiento que internalicen las externalidades negativas de los combustibles fósiles y las ordenanzas municipales dirigidas a mejorar la calidad del aire en las ciudades.

La evolución del precio de los vehículos eléctricos estará muy ligada a la evolución del precio de las baterías. El mercado actual trabaja con baterías de iones de Litio, que han evolucionado desde los 1.000\$/kWh en 2010 a los 190-200 \$/kWh en 2016, esperándose alcanzar los 73 \$/kWh en 2030, según estudio realizado por Bloomberg New Energy Finance (BNEF)⁵¹. Se estima que a partir de los 100 \$/kWh se habrá alcanzado la paridad de precio.

La penetración de la electrificación se prevé exponencial debido a los desarrollos tecnológicos y al avance previsto en las baterías. La penetración vendrá además impulsada por la adopción de medidas de acompañamiento que internalicen las externalidades negativas de los combustibles fósiles y las ordenanzas municipales dirigidas a mejorar la calidad del aire en las ciudades.

En este nuevo paradigma, las cadenas de suministro de materias prima serán muy importantes. No obstante, la gestión del final de la vida útil de las baterías, la reciclabilidad de los materiales, las aplicaciones de segunda vida útil de las mismas, las normas para la gestión de residuos de la batería y los requisitos medioambientales en el diseño, serán cruciales para reducir los volúmenes de materias primas críticas necesarias limitando los riesgos de escasez, y el correspondiente impacto ambiental en las fases de extracción de materiales y en la producción del vehículo.

Asimismo, la investigación en nuevas baterías químicas, junto con la mayor eficiencia en el diseño de las actuales, permitirá aumentar la densidad energética y alcanzar las prestaciones de los modelos de combustión actuales a precios competitivos.

Se prevé, igualmente, una alta penetración de autobuses urbanos eléctricos en el periodo 2030-2050 dado que disponen de rutas predeterminadas que permiten la planificación de la recarga, haciendo posible diseñar el tamaño de batería más adecuado para que sea una opción económicamente viable. Será necesario, no obstante, avanzar en la recarga inteligente y su gestión para evitar contratar grandes potencias en las cocheras y compatibilizar la recarga con las operaciones de mantenimiento de los autobuses, que pueden llegar a tener servicios de 16h. La pila de combustible alimentada con hidrógeno será posiblemente la alternativa que faciliten los fabricantes para los autobuses con mayores necesidades de autonomía y ocupación.

⁵⁰ New Energy Outlook 2019, BNEF

⁵¹ <http://www.element-energy.co.uk/publications/>

No se espera que el despliegue de infraestructura de recarga pública interoperable sea una barrera en el periodo 2030-2050. Se estima que, como consecuencia de la implementación del PNIEC 2021-2030, ya se habrá desplegado con la suficiente capilaridad en 2030. En este contexto, la electrificación del transporte de pasajeros podría electrificarse prácticamente al 100% en 2050. Sin embargo, la electrificación con baterías de los vehículos pesados para transporte de mercancías de larga distancia no será significativa a 2030, y seguirá siendo un reto a 2050, debido a las necesidades del servicio (autonomía necesaria), así como por retos de índole técnico (peso máximo de los vehículos) y por costes.

Combustibles renovables

Los biocarburantes constituyen la tecnología renovable más ampliamente disponible y utilizada en la actualidad en el transporte. Además, en sectores como los vehículos pesados, el marítimo y el de la aviación, actualmente es la alternativa más competitiva para descarbonizar.

La penetración de los biocarburantes en carretera hasta 2030 será acorde a lo establecido en la Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, que establece objetivos mínimos con una contribución máxima de biocarburantes convencionales producidos a partir de cultivos alimentarios y forrajeros y una contribución mínima obligatoria de biocarburantes avanzados. Se consideran biocarburantes avanzados los que están elaborados a partir de materias primas del Anexo IX.A de dicha Directiva (distintos tipos de residuos).

El máximo fijado para los biocarburantes convencionales, introducido con el fin de impulsar el desarrollo de los avanzados y de minimizar potenciales consecuencias del cambio de uso de la tierra, implica que la contribución de esta tecnología, que seguirá siendo la más relevante de las renovables en el transporte hasta 2030, será comparativamente menor a partir de ese año.

El cumplimiento de los objetivos de consumo hasta 2030 de biocarburantes avanzados y la posterior generalización de su uso requieren un impulso específico de su producción. Actualmente, en unos casos, existe una limitada disponibilidad de algunas de las materias primas consideradas y, en otros, un bajo nivel de madurez tecnológica de algunos de los procesos que permiten la fabricación de ese tipo de biocarburantes.

Finalmente, se deberá avanzar en lo ya apuntado al 2030 en relación a obligaciones generales de venta o consumo de biocarburantes y de manera específica en el sector de la aviación.

Será necesario implantar, también, mecanismos que faciliten la valorización de los residuos, la movilización de la biomasa, la investigación en nuevos procesos y las inversiones necesarias para las instalaciones de fabricación de biocarburantes avanzados.

Habrán que implantar, también, mecanismos que faciliten la valorización de los residuos, la movilización de la biomasa, la investigación en nuevos procesos y las inversiones necesarias para las instalaciones de fabricación de biocarburantes avanzados.

Ahora bien, tal y como se ha mencionado con anterioridad, si bien los biocarburantes líquidos permiten una continuidad a los sistemas de propulsión ya existentes y a los sistemas logísticos de suministro, no solucionan los problemas de emisiones contaminantes locales y vienen asimismo condicionados por los límites de eficiencia de las tecnologías actuales en motores de combustión.

Gases renovables

El gas natural de origen fósil como sustituto del gasóleo, aunque contribuye a la descarbonización por la propia composición de la molécula, no mitiga lo suficiente como para alcanzar objetivos exigentes de descarbonización del sector. Por ello es necesario avanzar en la generación de otros gases o mezclas del gas natural con otros gases de origen renovable, que permitan alcanzar esos objetivos.

Se incluyen en este epígrafe la aplicación en movilidad de los siguientes combustibles:

- ▶ **El hidrógeno** que podrá ser utilizado directamente en pila de combustible o como elemento intermedio en tecnologías *Power to Gas* (producción de metano utilizando CO_2) y también inyectado en la red de gasoductos.
- ▶ **El biometano** producido a partir de biogás o por metanización de gas de síntesis obtenido de la gasificación de biomasa.

Los gases renovables y en particular el hidrógeno utilizado en pila de combustible, desempeñarán un papel importante a partir de 2030, principalmente en vehículos pesados (furgones, camiones y autobuses interurbanos), en los que la sustitución de combustibles fósiles por motores eléctricos con baterías presenta restricciones técnicas y económicas para dar respuesta a las prestaciones que ofrecen esas categorías de vehículos. No obstante, para garantizar su contribución a la descarbonización, será necesario que los mencionados gases y el hidrógeno se produzcan mediante procesos que supongan una reducción sustantiva de emisiones de CO_2 en todo el ciclo de vida y la acreditación de dicha reducción por medio del correspondiente sistema de certificación.

El desarrollo de los gases renovables requerirá ganar en eficiencia en la producción, vía economías de escala en el caso del hidrógeno renovable, y línea de aprendizaje en el caso del *Power to Gas*. En este sentido, para el periodo 2030-2050, se necesitará una escala industrial para la electrólisis y la fabricación de las pilas de combustible que haga competitivo el uso de estos gases en el transporte pesado. Al mismo tiempo, se debe velar por el despliegue de la infraestructura de suministro que, por las inversiones que requiere, deberá ir acompañada al desarrollo tecnológico.

Estas tecnologías pueden contribuir a la descarbonización en sectores como la energía, el transporte y la industria, por lo que se deberá analizar el desarrollo de una planificación integrada, incluyendo aspectos regulatorios y de apoyo a la financiación.

El desarrollo de los gases renovables requerirá ganar en eficiencia en la producción, vía economías de escala en el caso del hidrógeno renovable y línea de aprendizaje en el caso del Power to Gas.

Otros carburantes líquidos renovables de origen no biológico

Hasta 2030 no se espera una contribución significativa de estos productos, fabricados mediante procesos *Power to Liquid*, tales como el etanol, el metanol y quizás, otros hidrocarburos.

C.2.3.2 Transporte por ferrocarril

El transporte por ferrocarril en España ha experimentado un gran desarrollo en la alta velocidad, enfocada fundamentalmente al transporte de pasajeros. Sin embargo, no ha llegado a cuotas de transporte de mercancías comparables con los países de nuestro entorno. El incremento en el trasvase de mercancías de la carretera al ferrocarril es una de las medidas que aportaría eficiencia energética al sector:

A la hora de explicar esta carencia se enumeran distintos factores: falta de capilaridad del transporte ferroviario; el poco peso del tráfico ferro-portuario; poca flexibilidad para adaptarse a los horarios, etcétera, hacen que desplazamientos de menos de 300 km sean difícilmente trasvasables desde la carretera hasta el ferrocarril.

Las tecnologías disponibles para mitigar emisiones son la eficiencia energética y una mayor electrificación.

- ▶ Medidas de eficiencia en la operación del tráfico ferroviario. Por ejemplo, la introducción de sistemas ATO para incorporar conducción eficiente y mejoras en el aprovechamiento de la energía recuperada en el frenado.
- ▶ Electrificación de vías aún no electrificadas.
- ▶ Utilización de biocombustibles líquidos y gases renovables (en aquellos tramos que no sea viable electrificar).

La sustitución de combustibles derivados del petróleo por combustibles renovables cuentan ya con experiencia en su utilización y su viabilidad técnica está probada.

C.2.3.3 Transporte aéreo nacional

Además de seguir apostando por la eficiencia energética en los consumos, la única tecnología disponible alternativa al uso de combustibles fósiles en el horizonte 2050 son los combustibles renovables y los motores eléctricos en aeronaves pequeñas.

Las acciones que se contemplan son:

- ▶ Medidas de eficiencia en los consumos, tales como mejoras en la gestión del tráfico aéreo (principalmente en fase de aterrizaje y despegue) y desarrollo de nuevos motores más eficientes. Según datos de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA)⁵², se espera que las aeronaves reduzcan su consumo en un 70% en el periodo 2015-2050.
- ▶ Sustitución de combustibles derivados del petróleo por combustibles renovables. Ya en la actualidad hay experiencia en su utilización y su viabilidad técnica está probada. Las particulares especificaciones requeridas para el queroseno de aviación hacen que hasta el momento existan pocas tecnologías de fabricación que permitan obtener estos productos cumpliendo los parámetros necesarios.
- ▶ Para aeronaves pequeñas, los motores eléctricos podrían ser una alternativa, alimentados por hidrógeno o por baterías.
- ▶ Cambio modal cuando exista una opción viable de traslado en ferrocarril.

⁵² <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology-roadmap-2013.pdf>

C.2.3.4 Transporte marítimo

Las acciones que se contemplan son:

- ▶ Medidas de eficiencia energética en naves nuevas y renovadas (motores de propulsión más eficientes, control de velocidad, revestimiento del casco) que significarán reducciones en el consumo por ton-km transportada del 24% en los barcos existentes y de hasta el 50% en barcos nuevos según datos de la Organización Marítima Internacional (IMO, 2014).
- ▶ Conexión eléctrica de los barcos a puerto durante su fase de atraque. Es necesario abordar las limitaciones de la red y las tarifas para ello. Esta acción, además de descarbonizar, presenta grandes ventajas en cuanto a la calidad del aire en las zonas portuarias.
- ▶ Sustitución de combustibles derivados del petróleo por combustibles renovables.
- ▶ Debido a los estándares de emisión cada vez más estrictos, especialmente en las zonas ECA (Emission Control Areas), el uso del gas natural licuado (GNL) en barcos se está empezando a implementar en las operaciones en puertos y en las zonas marítimas a efectos de cumplir con la normativa de MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships).
- ▶ El diseño de barcos que utilicen GNL en las operaciones en puertos, así como en travesía, viene condicionado por el análisis coste-beneficio, incluidos los beneficios medioambientales, así como de la capacidad de infraestructura de suministro de GNL en puerto, situación ventajosa en España que cuenta con siete plantas de regasificación.
- ▶ La utilización del GNL en barcos podría llegar a representar un 23% en consumo del transporte marítimo en 2050 a nivel mundial⁵³. La opción renovable en este caso es el biometano.
- ▶ Para pequeños barcos y trayectos cortos, se podrían sustituir los combustibles fósiles por motores eléctricos.
- ▶ No existe en este momento suficiente certidumbre sobre el desarrollo futuro de las opciones tecnológicas para transporte marítimo basadas en el uso del hidrógeno.

La utilización del GNL en barcos podría llegar a representar un 23% en consumo del transporte marítimo en 2050 a nivel mundial. La opción renovable en este caso es el biometano.

C.2.4 Retos y oportunidades

El cambio necesario para la descarbonización avanzada de los sistemas de transporte y movilidad a 2050, presenta una serie de retos y oportunidades. Se enumeran los más destacables.

Retos

- ▶ **Para la Administración General del Estado y las Administraciones Autonómicas.** Es esencial coordinar las distintas iniciativas para velar por un desarrollo homogéneo a nivel nacional, que marque un rumbo claro a los consumidores (ciudadanía y empresas) a la hora de tomar sus decisiones.

Asimismo, es necesario definir e implantar progresivamente una reforma fiscal ambiental.

- ▶ **Para las Entidades Locales,** y con horizonte el 2050, es importante el diseño urbanístico dirigido a minimizar las necesidades de movilidad y la existencia de un transporte público eficaz, eficiente, asequible y competitivo.

⁵³ Global Energy and Climate Outlook 2018: Sectoral mitigation options towards a low-emissions economy, JRC 2018

- ▶ **Para la industria.** El sector de la automoción en España representa el 10% del PIB y emplea en torno al 9% de la población activa. Es una industria puntera, competitiva y acostumbrada a moverse en un entorno de retos globales al ser un sector eminentemente exportador. Para mantenerse como productora del 3% de la producción mundial de coches y segundo país productor europeo⁵⁴, ha de tener en cuenta los objetivos y las sendas que se están marcando, tanto por nuestros competidores, como por los mercados de destino de los vehículos de fabricación española. Esa es la mejor manera de aprovechar el intenso proceso de transformación que está experimentando el sector a escala global y construir la senda de movilidad cero emisiones a 2050.

El sector a nivel europeo tiene el reto de no depender de los proveedores asiáticos de baterías. Una iniciativa destacable en este ámbito son los trabajos ya iniciados por la Comisión Europea en relación a la Alianza Europea de Baterías.

- ▶ **A nivel de formación,** es necesario adaptar los ciclos formativos y de enseñanza a las nuevas demandas del sector de la movilidad. Un estudio específico para el caso español de Cambridge Econometrics⁵⁵ indica que el potencial de creación de empleo del nuevo modelo de movilidad implicará la creación de más de 23.000 empleos netos en 2030.
- ▶ **Para las empresas,** dado que los servicios de recarga en España son una actividad liberalizada, la electrificación del transporte implica el reto de desplegar una infraestructura de uso público, rentable si se combina con otros servicios, con suficiente capilaridad. El Parlamento Europeo ha solicitado a los Estados miembros a que, en 2023, el 90% de las estaciones de servicio situadas en la red básica de la Red Transeuropea de Transporte (TEN-T) cuenten con puntos de recarga eléctrica rápida.

En España, se incluirá dicha exigencia en la Ley de Cambio Climático y Transición Energética. El reto a partir de 2030 será adaptar dicha infraestructura a las prestaciones de los nuevos modelos de vehículos eléctricos, con mayores capacidades de autonomía.

Adicionalmente, la directiva de eficiencia energética en edificios⁵⁶, incluye la obligación de dotar de puntos de recarga los aparcamientos nuevos y existentes.

Para las administraciones públicas va a ser esencial coordinar las distintas iniciativas para velar por un desarrollo homogéneo que marque un rumbo claro a los consumidores (ciudadanía y empresas), a la hora de tomar sus decisiones.

- ▶ **Para el sistema eléctrico**
 - ▶ Fomentar inversiones en tecnologías para redes inteligentes que permitan recargas simultáneas de millones de vehículos. La gestión de la demanda y el almacenamiento, aprovechando al mismo tiempo las oportunidades que brinda el autoconsumo, serán fundamentales para lograr la gestión del parque móvil.
- ▶ El sector de los **biocarburantes avanzados** se plantea retos relacionados con:
 - ▶ La madurez de las tecnologías de producción a escala comercial. Se requiere un considerable apoyo a la I+D+i.
 - ▶ La movilización de las materias primas sostenibles para la fabricación de estos productos.

⁵⁴ Informe Anual 2018, ANFAC.

⁵⁵ https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/2018_07_FSF-Repstar-hacia-el-futuro_FINAL.pdf

⁵⁶ Directiva (UE) 2018/844, que modifica las Directivas 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, y la 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética.

ANEXO C. DESCARBONIZACIÓN SECTORIAL

- ▶ El sector de los **gases renovables** deberá afrontar retos relativos a:
 - ▶ El coste de producción a partir de fuentes renovables. Actualmente superior a la extracción y procesamiento de los combustibles fósiles.
 - ▶ El déficit de instalaciones de suministro al usuario final.

Oportunidades

▶ Industrial y económica.

- ▶ Oportunidad para posicionar la industria española de fabricantes de vehículos, componentes e infraestructura de recarga de combustibles alternativos, ante nuevas demandas nacionales e internacionales.
- ▶ Oportunidades aportadas por las instalaciones de fabricación de combustibles renovables para la reindustrialización en zonas con mayores necesidades de dinamización socioeconómica y generación de empleo, contribuyendo a los planes de desarrollo rural.
- ▶ Contribución al concepto de economía circular:
 1. Transformación de vehículos de combustión o “retroadaptación”, principalmente en el ámbito de los vehículos de mercancías, para lo que será necesario avanzar en la homologación de dichas transformaciones a nivel europeo (hidrógeno, gas o eléctrico).
 2. Desarrollo de los combustibles a partir del aprovechamiento de residuos sin comprometer los objetivos de valorización material.
 3. Fomento de la industria de reciclaje y segunda vida de las baterías⁵⁷.
- ▶ Atracción de fondos estructurales europeos y del nuevo Marco Financiero Multianual (MFF) para el despliegue de infraestructura de suministro de combustibles alternativos y para la investigación en el desarrollo de tecnologías de cero y bajas emisiones en el sector transporte.

El cambio contribuirá al desarrollo del concepto de economía circular, tanto en lo que se refiere a la transformación o readaptación de vehículos, como al desarrollo de combustibles con aprovechamiento de residuos o la industria del reciclaje.

▶ Nuevos modelos de negocio

- ▶ Figura del agregador para gestionar la capacidad de almacenamiento de los vehículos eléctricos.
- ▶ Producción de hidrógeno renovable a precios competitivos empleando energía eléctrica renovable.
- ▶ Cambio disruptivo en los sistemas de movilidad a 2050. La progresiva implantación de soluciones de movilidad inteligente y conectada, exigirá alianzas entre empresas de distintos sectores: energía, transporte, telecomunicaciones, aseguradoras, etc... **La movilidad compartida** facilitará mayores ratios de utilización de los vehículos, lo que permitirá optimizar la inversión en la adquisición de los mismos.
- ▶ Oportunidades de investigación e innovación en desarrollos biotecnológicos proporcionadas por las rutas de producción mediante procesos bioquímicos.

⁵⁷ Batteries on wheels: the role of battery electric cars in the EU power system and beyond, Element Energy, 2019

C.3 EDIFICACIÓN SOSTENIBLE

El consumo final de energía en el sector de la edificación en España tiene menor importancia relativa que en la media de la UE debido principalmente a las diferencias climáticas, representa alrededor del 30% mientras que en el conjunto de la UE supone el 39%. Bajo la denominación común de edificios se incluyen dos sectores de consumo de energía con pautas y dinámicas distintas:

- ▶ **Residencial.** Este sector recoge el consumo de los hogares y representa alrededor del 18% de la energía final.
- ▶ **Servicios.** Comercio, administraciones públicas y, en general, las actividades económicas del sector servicios, que suponen el 13% del consumo de energía final.

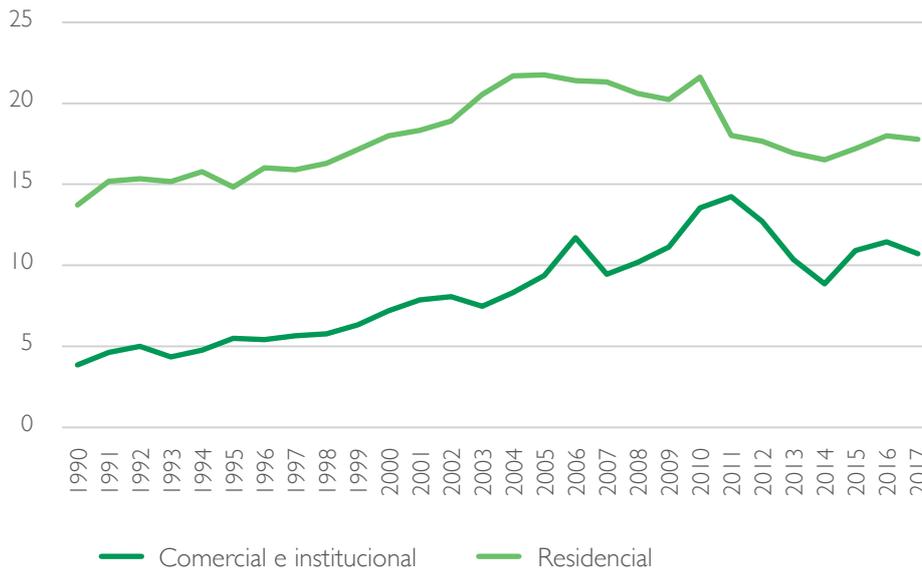
C.3.1 Situación actual

Desde el año 2000, el sector de edificios en España ha adquirido más peso en la demanda de energía final, como consecuencia del incremento registrado en la segunda mitad de la década pasada, en la que aumentó alrededor de 6 puntos porcentuales.

El consumo medio de los edificios españoles es de 0,55 tep/año, un tercio del consumo medio de los países de la UE. La diferencia se explica en gran medida por la climatología más favorable en España, tal y como se ha comentado previamente.

Por su parte, la evolución de emisiones directas de CO₂ del sector de edificios (sin incluir las derivadas de su consumo de electricidad) queda recogida en el siguiente gráfico.

FIGURA C.13 Evolución de emisiones de CO₂ del Sector Edificios (en Mt de CO₂)



Fuente: EUROSTAT

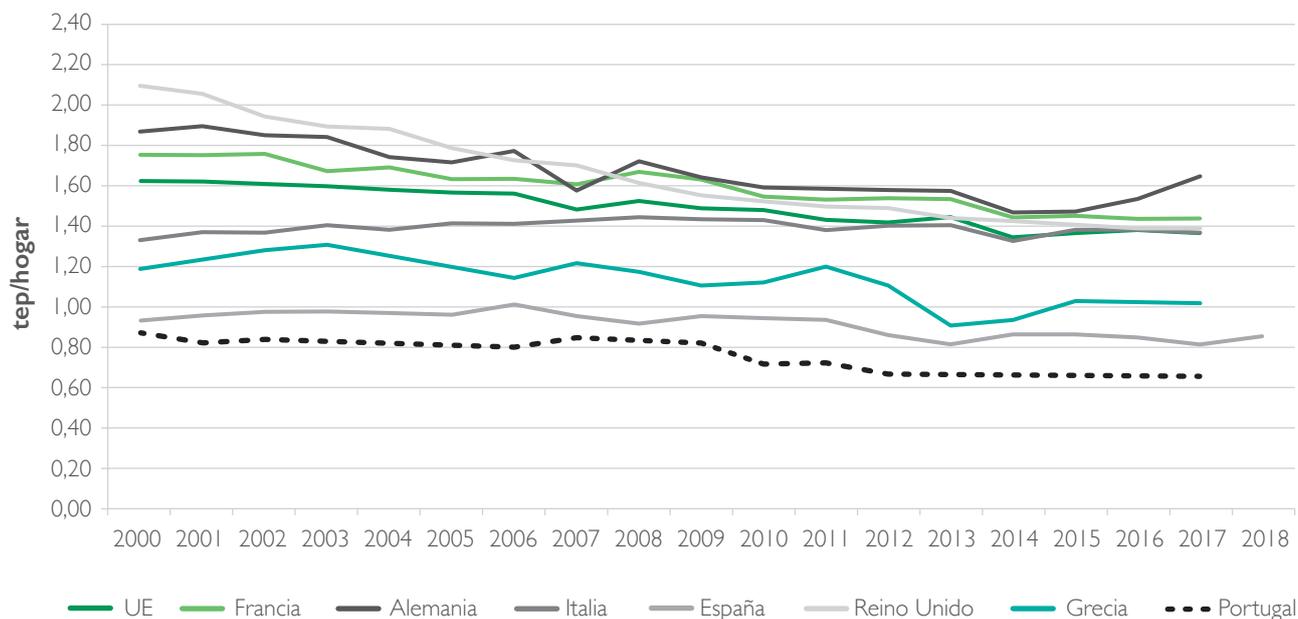
A continuación, se ofrece un análisis de cada uno de los sub-sectores que forman parte del sector edificios.

C.3.1.1 Sector Residencial

El consumo del sector residencial en 2018 ascendió a 15.008 ktep, alrededor del 18,1% del consumo total de energía final.

A continuación, se muestra la evolución de la intensidad energética del sector residencial en España comparada con algunos países de la UE, incluyendo una corrección según el clima para ajustar el impacto de las variaciones entre inviernos.

FIGURA C.14 Intensidad energética del sector residencial en España y la UE⁵⁸, 2000-2018



Fuente: Fuente: La energía en España 2018, MITECO

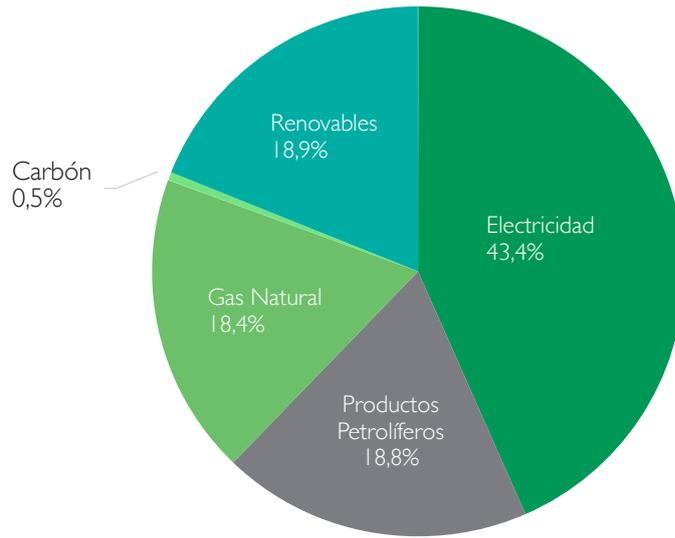
El análisis comparativo señala una diferencia del orden del 40%, entre el indicador nacional y la media europea (UE-28), circunstancia igualmente presente en otros países del sur de Europa como Grecia y Portugal, debido a la climatología como comentado previamente. Por tanto, la diferencia en el peso relativo de la calefacción condiciona en gran medida la intensidad energética del sector residencial.

Atendiendo a las fuentes energéticas, alrededor de un 60% de la demanda de energía del sector residencial se satisface con el uso directo de diversos combustibles de origen fósil y renovable, mientras que la electricidad cubre el 40% restante de la demanda.

El predominio de los combustibles refleja la importancia que tienen en este sector los usos de tipo térmico, entre ellos la calefacción, donde se concentra el 43% de la demanda de los hogares españoles, estando cubierto mayoritariamente con combustibles de origen fósil y recursos renovables.

⁵⁸ Intensidad con corrección climática.

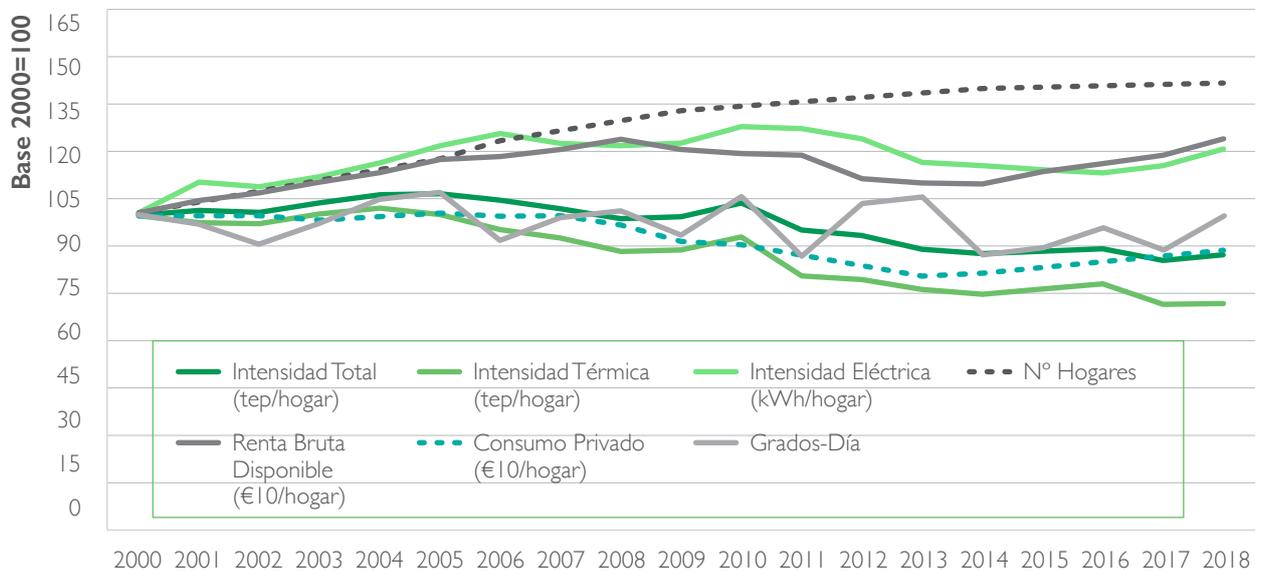
FIGURA C.15 Consumo energético del sector residencial según fuentes energéticas, 2018



Fuente: Fuente: La energía en España 2018, MITECO

Las mejoras tecnológicas y legislativas producidas en el ámbito de los edificios y del equipamiento del sector residencial han tenido un impacto positivo en la intensidad energética de este sector. Esto ha venido acompañado por el cambio de coyuntura económica ocurrido desde 2008, que conlleva unos hábitos de consumo más austeros, así como por el incremento de los precios energéticos. La intensidad térmica ha crecido ligeramente desde 2014, año en el que alcanzó su valor más bajo, mientras que la intensidad eléctrica mantiene la tendencia a la baja registrada en la presente década.

FIGURA C.16 Indicadores de la Intensidad del Sector Residencial, 2000-2018



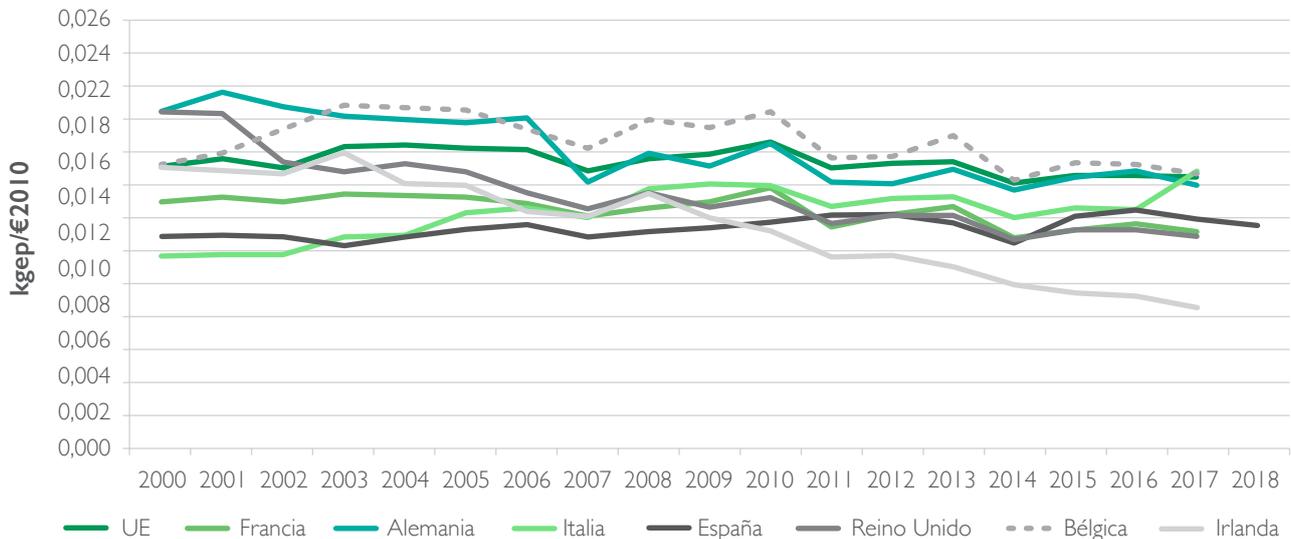
Fuente: Fuente: La energía en España 2018, MITECO

C.3.1.2 Sector Servicios

El sector servicios agrupa, entre otros, las oficinas, el comercio, la sanidad, la educación, la hostelería y la restauración. Su intensidad energética presenta una paulatina reducción entre 2011 y 2014, que se revierte en los dos años siguientes, coincidiendo con la recuperación de la actividad económica.

Un análisis comparativo de la evolución de la intensidad energética a nivel de la UE permite observar el posicionamiento del indicador por debajo del correspondiente a la media europea.

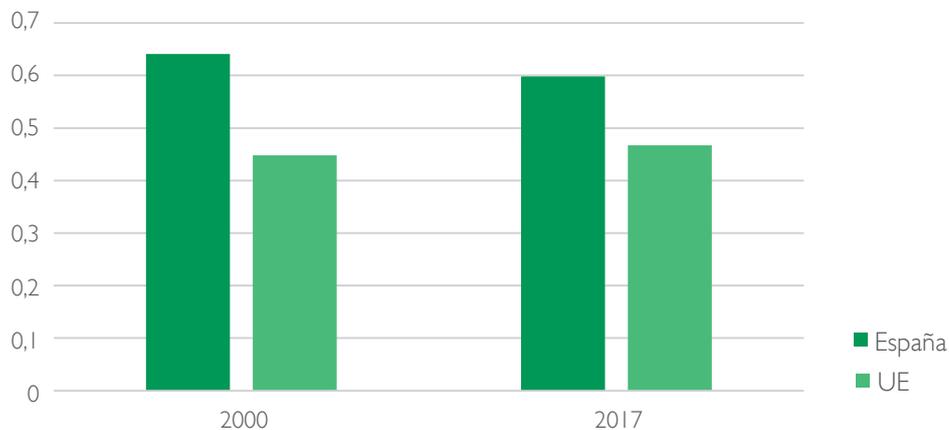
FIGURA C.17 Intensidad energética del Sector Servicios en España y la UE, 2000-2018



Fuente: Fuente: La energía en España 2018, MITECO

La evolución de la intensidad responde en gran parte a la estructura de la demanda, con una elevada representatividad de la electricidad en la cobertura de las necesidades de este sector, que cubre casi dos tercios de la demanda total, unos veinte puntos porcentuales por encima de la media europea.

FIGURA C.18 Consumo eléctrico del sector servicios en España y la UE



Fuente: IDAE/EUROSTAT

El elevado nivel de consumo eléctrico responde a la tipología de usos energéticos, así como a la composición sectorial del sector: Concretamente, las necesidades de los sectores de oficinas y comercio en cuanto a iluminación, climatización, equipamiento ofimático, tecnologías de información y comunicación (TIC), etc. explican en gran medida la demanda eléctrica. El menor consumo eléctrico en los países del centro y norte de Europa se debe en gran medida a una menor carga de refrigeración y al mayor uso de la cogeneración y de las redes de distrito para la cobertura de sus demandas energéticas.

C.3.1.3 Características del sector

Algunas particularidades del sector de la edificación relevantes para su descarbonización son su carácter difuso y el elevado coste relativo de las actuaciones a acometer; junto con los largos periodos de retorno de las inversiones. Al contrario que ocurre con sectores como la generación eléctrica renovable, para la descarbonización de la edificación no es suficiente con un marco regulatorio adecuado, sino que se requieren medidas de impulso específicas para promover las actuaciones necesarias.

La descarbonización del sector de la edificación debe empezar, en primer lugar, por la reducción de la demanda energética total. Según estimaciones de la Comisión Europea, el 20% del parque edificado existente en 2050 no se ha construido todavía, por lo que el adecuado diseño y construcción de los nuevos edificios desempeña un papel fundamental. No obstante, el 80% restante corresponde a edificación ya existente a día de hoy, por lo que es necesario un enfoque integral y ambicioso de actuación en el parque existente.

Una vez abordada la reducción de necesidades energéticas es necesario acometer la descarbonización de las demandas restantes. En el caso de la electricidad, se prevé que ésta sea libre de emisiones dado el fuerte crecimiento de la generación renovable, aproximándose al 100% para 2050. El sector edificación, como se verá a continuación, desempeña un papel importante en la instalación de nueva generación eléctrica renovable.

El principal reto, por tanto, y como muestra la siguiente tabla, reside en la sustitución de los combustibles fósiles de los usos de calefacción y agua caliente sanitaria, dado que el resto de los servicios que demandan energía se satisfacen con electricidad.

TABLA C.1 Demanda energética en edificación y fuentes de energía

| Tipo de demanda | Fuente de energía |
|---|--|
| Fuerza (Ascensores, electrónica, electrodomésticos, domótica) | Electricidad |
| Iluminación | Electricidad |
| Ventilación mecánica (para renovación del aire interior) | Electricidad |
| Refrigeración | Electricidad |
| Calefacción | Combustibles/electricidad |
| Agua caliente sanitaria (ACS, piscinas) | Combustibles/electricidad/solar |

Fuente: MITECO

Por otra parte, además de los consumos de energía que se dan en el propio edificio en su uso, la edificación es responsable también de otros consumos energéticos indirectos:

- ▶ La **movilidad que generan** (que es objeto de un apartado específico en esta Estrategia).
- ▶ La **energía embebida** en la edificación a partir de la fabricación de los materiales, su transporte y el propio proceso de construcción, que a lo largo del ciclo de vida de un edificio puede ser tan relevante como la energía consumida durante su uso⁵⁹.
- ▶ La **energía inducida por los servicios digitales** que se demandan en el edificio (actualmente sobre todo uso de internet y servicios *streaming*, pero también Internet de las Cosas y servicios de domótica, que serán cada vez más relevantes en un contexto de digitalización y control activo de la edificación)⁶⁰.

C.3.2 Tecnologías disponibles y vías para la descarbonización

A continuación, se enumeran una serie de tecnologías disponibles para la transformación.

FIGURA C.19 Consumo eléctrico del sector servicios en España y la UE

Tecnologías disponibles para la descarbonización en edificación



Nota: Las renovables térmicas y tecnologías de electrificación pueden ser aplicadas de forma individual o colectiva, como en redes de climatización centralizada o agrupaciones de autoconsumo colectivo. Fuente: MITECO.

Fuente: IDAE/EUROSTAT

⁵⁹ WEF: <https://www.weforum.org/agenda/2015/05/why-we-need-to-focus-on-embedded-energy-in-buildings/>; White paper del CBx: https://issuu.com/cbx-change/docs/cbx_white_paper_embodied_carbon

⁶⁰ Según un informe del American Council for an Energy-Efficient Economy, casi 2/3 del consumo energético derivado del uso de datos ocurre en los centros de datos e infraestructura de telecomunicaciones, y solo 1/3 en el usuario final: <https://aceee.org/files/proceedings/2012/data/papers/0193-000409.pdf>

Además de tecnologías para implantar en el propio edificio, existen sistemas de diseño y de análisis de ciclo de vida⁶¹ que evalúan y minimizan el consumo energético del edificio durante la construcción.

Vías de descarbonización

Para establecer una evolución tecnológica adecuada a largo plazo (2050) deben considerarse dos periodos claramente diferenciados:

- a) **Actuaciones hasta 2030:** Vinculadas a los objetivos del PNIEC y marcadas por la rehabilitación energética y la renovación de instalaciones térmicas existentes, mediante desarrollo y optimización de las tecnologías actualmente maduras. Estas tecnologías comprenden las siguientes: renovables térmicas, sistemas de gestión de la demanda, integración de renovables en la red (como el almacenamiento, los puntos de recarga bidireccionales, los sistemas de gestión de la información, etc.) y electrificación de parte de la demanda térmica en edificios.
- b) **Actuaciones desde 2030 a 2050:** Marcadas por los avances en la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones.

En todo caso, dado el largo periodo de vida útil de los edificios y la tasa de renovación relativamente baja comparada con otros sectores, es necesario alinear las políticas, inversiones y medidas que se acometan en los próximos años para que éstas se puedan hacer de forma compatible con un escenario de descarbonización a 2050, siguiendo el principio de políticas “no-regrets”.

El PNIEC prevé una reducción significativa del consumo del sector residencial, ligado a la renovación de las instalaciones térmicas en más de 300.000 viviendas/año y la intervención sobre la envolvente térmica de una media de 120.000 viviendas/año (1.200.000 viviendas en el periodo 2021-2030).

C.3.3 Horizonte 2030

El PNIEC prevé una reducción de emisiones de los sectores residencial y servicios a 2030, principalmente ligada a políticas de eficiencia energética, cuya reducción en el consumo está principalmente ligada a la reducción en el uso de los combustibles fósiles. En el caso del sector residencial, el Plan prevé una reducción significativa del consumo del sector, ligado a la renovación de las instalaciones térmicas en más de 300.000 viviendas/año y la intervención sobre la envolvente térmica de una media de 120.000 viviendas/año (1.200.000 viviendas en el periodo 2021-2030).

El cumplimiento de estos objetivos se apoya, además, en la aprobación de un nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) que aumenta las exigencias en ahorro e incorporación de energías renovables, tanto en los edificios de nueva construcción como en las rehabilitaciones integrales de los mismos.

En cuanto al sector servicios, se prevén actuaciones sobre la envolvente térmica, las instalaciones térmicas y las instalaciones de iluminación. El resultado: la electricidad mantiene su cuota en torno al 60% del consumo del sector hasta mediados de década y la aumenta hacia el año 2030, el consumo de renovables se incrementa a más del doble (pasando de menos del 2% a más del 4% del consumo del sector). Mientras que se reduce el consumo tanto de gas natural como de productos petrolíferos.

⁶¹ Ejemplos: VERDE, E+C- (Francia).

C.3.4 Horizonte 2050

C.3.4.1 Edificación nueva

Los avances en técnicas arquitectónicas y constructivas, junto con sistemas de gestión energética en los edificios, así como la implantación de energías renovables térmicas y eléctricas en la edificación, permiten que los nuevos edificios que se construyan tengan **necesidades energéticas casi nulas** especialmente en el uso de la climatización.

Por otra parte, en España existen numerosas zonas climáticas en las que en la totalidad o la gran mayoría de casos se pueden conseguir condiciones de confort en la edificación con sistemas pasivos – esto es, prescindiendo del uso de energía para la climatización –.

En el sentido descrito anteriormente de asegurar una compatibilidad para un escenario descarbonizado a 2050, en los próximos años la nueva edificación debería prever aprovechamientos óptimos de superficie para el uso térmico y/o eléctrico de la energía solar; reservas de espacio para sistemas de almacenamiento eléctrico y/o térmico y reservas para canalización de cableado y conexiones para sistemas de autoconsumo, gestión de la demanda o recarga de vehículo eléctrico.

Para ello serán esenciales las herramientas normativas tales como el Código Técnico de la Edificación y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios.

En España existen numerosas zonas climáticas en las que en la totalidad o la gran mayoría de casos se pueden conseguir condiciones de confort en la edificación con sistemas pasivos – esto es, prescindiendo del uso de energía para la climatización –.

Criterios de edificación sostenible

Una vez abordada la reducción de consumo durante el uso, se hace relevante actuar sobre la energía y emisiones asociadas a la fabricación de materiales, su transporte y el proceso constructivo. Según la zona climática y la tipología de edificio, analizando el ciclo de vida completo de la edificación, **la energía embebida puede superar la energía consumida durante el uso del edificio**⁶².

Se hace necesario por tanto contemplar en la normativa para la nueva edificación criterios de contabilización y de reducción de impacto energético y ambiental en el propio proceso constructivo. Ya existen diversos sistemas de certificación de construcción ambiental o sostenible que contemplan un análisis de ciclo de vida y en concreto el análisis de emisiones embebidas. Varios países cuentan con bases de datos para facilitar el análisis de ciclo de vida para la construcción, si bien por ahora se trata de certificaciones voluntarias. La única excepción es Países Bajos, donde existe una obligación de calcular el impacto ambiental de los materiales⁶³.

El Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) desarrolla la base de datos OPENDAP⁶⁴, donde se recogen Declaraciones Ambientales de Producto que aportan información ambiental del ciclo de vida de los productos de la construcción.

⁶² *Embodied Energy and Nearly Zero Energy Buildings: A Review in Residential Buildings*: https://www.researchgate.net/publication/316052639_Embodied_Energy_and_Nearly_Zero_Energy_Buildings_A_Review_in_Residential_Buildings

⁶³ Agencia Internacional de la Energía. *Evaluation of embodied energy and CO₂eq for Building Construction (Annex 57). Subtask 4: Case studies and recommendations for the reduction of embodied energy and embodied greenhouse gas emissions from buildings*

⁶⁴ <https://www.opendap.es/>

C.3.4.2 Intervención en edificación existente. *Primero, la eficiencia energética*

Si bien es en los nuevos edificios donde se puede abordar la descarbonización del sector de la edificación de forma más completa y coste-efectiva, tal y como se ha señalado, se estima que el 80% del parque edificado en 2050 estará compuesto por edificios que ya existen a día de hoy, por lo que es crítico actuar sobre ellos.

Siguiendo el principio “primero, la eficiencia energética” la Comisión Europea propone la eficiencia energética en la edificación como el primero de los bloques de medidas a acometer. En este sentido, destaca la **Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España**, cuya actualización, en cumplimiento del artículo 2bis de la Directiva 2010/31/UE, se ha presentado en junio 2020⁶⁵, incluyendo el desarrollo detallado de los objetivos, hitos y medidas en este sector.

Como se ha mencionado anteriormente, para impulsar las actuaciones de mejora energética de los edificios no es suficiente con un marco regulatorio adecuado, sino que son necesarias medidas específicas de impulso que muevan a los titulares de los edificios a acometer dichas mejoras. Por tanto, son necesarios:

- ▶ **Fondos para el apoyo de medidas de eficiencia energética y mejora de los edificios**, entre ellos, el Fondo Nacional de Eficiencia Energética, que deberá adecuar sus aportaciones y la tipología de medidas subvencionables en coherencia con la Estrategia a largo plazo; Planes de Vivienda (como el Plan estatal de vivienda 2018-2021 del MITMA) y otras medidas en los Presupuestos Generales del Estado y de las CC.AA. y Entidades Locales, apoyados por una fiscalidad ambiental.
 - ▶ Estos fondos deberán impulsar tanto actuaciones generales de mejora de la eficiencia energética, así como proyectos singulares que integren una visión global y tengan un efecto demostrativo.
 - ▶ El déficit de instalaciones de suministro al usuario final.
 - ▶ Las actuaciones que se subvencionen deben ser compatibles con un escenario de descarbonización, evitando incentivar actuaciones con un corto recorrido temporal.
- ▶ **Movilización de recursos privados**, tanto en el sector terciario como el residencial, mediante convenios con entidades financieras, líneas de financiación con operadores públicos (ICO/BEI/IDAE), aprovechando líneas de ayuda como palanca (condicionando o puntuando determinadas ayudas a que existan actuaciones adicionales en materia de eficiencia) y mediante empresas de servicios energéticos u otros sistemas de financiación que asocien la amortización de la inversión a los ahorros energéticos.

Para impulsar las actuaciones de mejora energética de los edificios no es suficiente con un marco regulatorio adecuado, sino que son necesarias medidas específicas de impulso que muevan a los titulares de los edificios a acometer dichas mejoras.

⁶⁵ https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/long-term-renovation-strategies_en

C.3.4.2.1 El papel de las instalaciones térmicas

Una vez abordada la reducción de las necesidades energéticas de la edificación, particularmente en la climatización, es necesario adoptar decisiones sobre la cobertura de las demandas de agua caliente sanitaria y de climatización restantes para la sustitución de los combustibles fósiles en el sector. Es interesante valorar las soluciones más eficientes a escala de barrio o distrito como las redes de calor y frío (*district heating* con energías renovables).

Si bien las instalaciones térmicas en nuevos edificios o en sustitución de instalaciones existentes deben ser libres de emisiones, existen diversas tecnologías que responden a este requerimiento, con distintas particularidades:

- ▶ **Bomba de calor (aerotérmica, geotérmica e hidrotérmica):** permite electrificar la demanda tanto de frío como de calor. Sin embargo, actualmente no todos los sistemas de climatización existentes admiten una sencilla sustitución. Pero es previsible que los rangos de funcionamiento de las bombas de calor evolucionen y permitan el uso de instalaciones térmicas convencionales para la distribución del calor.

Es interesante valorar las soluciones más eficientes a escala de barrio o distrito, como las redes de calor y frío (district heating con energías renovables).

- ▶ **Sistemas geotérmicos directos:** mayor eficiencia al aprovechar el recurso geotérmico de baja temperatura (70 - 100°C) de manera directa sin la necesidad de una bomba de calor. Sin embargo, requieren una importante demanda a poca distancia del aprovechamiento geotérmico.
- ▶ **Energía solar térmica (calor y frío):** mayor eficiencia al aprovechar el recurso de forma directa evitando pérdidas por pasos intermedios de conversión en electricidad, aunque menor versatilidad.
- ▶ **Instalaciones de biomasa:** consiguen temperaturas idénticas a las de las calderas de fósiles, por lo que reducen la complejidad de la sustitución en sistemas existentes. El amplio potencial de recurso disponible en España debe permitir garantizar tanto el ahorro de emisiones de CO₂ como la sostenibilidad evitando el impacto sobre el ecosistema y la biodiversidad⁶⁶.

Presenta los retos de minimizar las emisiones de partículas durante su funcionamiento, obtener elevados rendimientos y el almacenamiento del combustible. Si bien en ámbitos rurales puede tener como valor añadido la creación de actividad y la gestión del medio, asociadas al aprovechamiento del recurso.

- ▶ **Otros combustibles renovables:** en un horizonte temporal más amplio, se podrían generalizar sistemas de pila de combustible destinados a combustibles renovables (como el hidrógeno) u otros sistemas adaptados a gases renovables⁶⁷.

⁶⁶ La Directiva 2018/2001 indica que los combustibles de biomasa cumplirán los criterios de sostenibilidad y de reducción de emisiones que marca dicha directiva cuando se empleen en instalaciones que produzcan calefacción y refrigeración con una potencia superior a 20 MW en caso de combustibles sólidos. Los Estados Miembros podrán aplicar esta condición a potencias más bajas. Esta condición es necesario cumplirla para contribuir a los objetivos y obligaciones y optar a ayudas.

⁶⁷ La Directiva 2018/2001 indica que los combustibles de biomasa cumplirán los criterios de sostenibilidad y de reducción de emisiones que marca dicha directiva cuando se empleen en instalaciones que produzcan calefacción y refrigeración con una potencia superior a 2 MW en caso de combustibles gaseosos derivados de biomasa. Los Estados miembros podrán aplicar esta condición a potencias más bajas. Esta condición es necesario cumplirla para contribuir a los objetivos y obligaciones y optar a ayudas.

¿Hacia la plena electrificación?

El incremento de la demanda eléctrica asociada al uso de nuevo equipamiento basado en electricidad, presenta como reto, un elevado consumo energético y elevados picos de demanda, en particular allí donde exista una cierta simultaneidad de los consumos. No obstante, esta evolución vendrá acompañada, como se ha indicado en apartados previos, de una evolución del autoconsumo y el almacenamiento, junto con la gestión y la flexibilidad de la demanda, lo que racionalizará las necesidades de dimensionamiento de las instalaciones y las acometidas eléctricas de los edificios. Los principales esfuerzos deberán centrarse especialmente en los edificios residenciales plurifamiliares.

La plena electrificación de las demandas térmicas en el sector edificación presenta el riesgo de reducir las posibles opciones disponibles al consumidor. Por ello es necesario garantizar el desarrollo de un mercado eléctrico dinámico, en el que el consumidor tenga capacidad de elección y de incidencia, tal y como se ha indicado en los apartados previos. Pero también analizar la totalidad de las alternativas de calor y frío renovables.

Los edificios pueden convertirse en recursos energéticos distribuidos de gestión de la demanda que, directamente o a través de agregadores, pueden ofrecer servicios al sistema eléctrico para facilitar la integración de renovables y mantener la estabilidad de la red. Lo que permite un papel más activo del consumidor en el sistema energético.

En todo caso, para avanzar hacia la electrificación de la demanda es necesario contar con las señales de precios para facilitar la toma de decisiones adecuada por parte de los consumidores.

Los edificios pueden convertirse en recursos energéticos distribuidos de gestión de la demanda que, directamente o a través de agregadores, pueden ofrecer servicios al sistema eléctrico para facilitar la integración de renovables y mantener la estabilidad de la red.

C.3.4.2.2 Generación distribuida. La edificación en el sistema eléctrico

Los edificios suponen un eje de actuación fundamental en la incorporación de las energías renovables en la red eléctrica. El impulso del autoconsumo en particular y la generación distribuida en general tienen implicaciones no solo sobre la instalación de sistemas renovables sino también sobre el diseño, configuración y uso de la edificación. Este escenario permite superar la visión de la ciudad como sumidero energético o incluso del concepto de edificio “de consumo casi nulo de energía”, pasando a edificios o distritos “de energía positiva”, es decir, que sean capaces de generar excedente de energía térmica o eléctrica y compartirla con el resto de su entorno edificado.

El reto está no solo en la implantación de nueva potencia sino en los sistemas que deben implantarse para gestionar su producción y la demanda de energía, para así optimizar el sistema eléctrico. Adicionalmente, también es necesario facilitar la instalación de sistemas de acumulación de energía.

Muchos de los equipos/tecnologías que facilitarán este nuevo planteamiento deben instalarse en los propios edificios, como los contadores inteligentes, los puntos de recarga del vehículo eléctrico en los aparcamientos de los edificios, las baterías o sistemas de acumulación de energía, individuales o colectivos, o los sistemas de gestión de la demanda colectivos (en comunidades de vecinos, comunidades energéticas y otros).

La edificación forma parte, por tanto, de un ejemplo de acoplamiento de sectores, en el que la gestión de las necesidades energéticas del propio edificio interactúa y se convierte en una herramienta para la gestión del sistema en su conjunto, mediante la gestión de recursos energéticos distribuidos (generación, acumulación y demanda) que aportan servicios al sistema en su conjunto o a otros usuarios. La digitalización en los intercambios comerciales y de energía a través de tecnologías como por ejemplo *blockchain*, expansión de las aplicaciones de Big Data a la gestión y comercialización de la energía, juegan un papel clave para que el consumidor pueda desempeñar ese papel.

C.3.5 Retos y oportunidades

Retos

- ▶ Al ser un sector difuso requiere acciones concertadas que puedan movilizar la toma de decisiones por parte de los titulares de los edificios. Es necesario abordar en particular la mejora de la edificación existente.
- ▶ La sostenibilidad de la edificación afecta, al menos, a los niveles competenciales europeo, estatal, autonómico y local, por lo que es necesaria una adecuada coordinación interadministrativa.
- ▶ Junto con la electrificación, es necesario potenciar el uso de energías renovables de uso final, sobre todo para cubrir las demandas térmicas.

La sostenibilidad de la edificación afecta, al menos, a los niveles competenciales europeo, estatal, autonómico y local, por lo que es necesaria una adecuada coordinación interadministrativa.

Oportunidades

- ▶ El sector de la construcción ha sido clave en la creación de empleo y riqueza en España. No obstante, se ha focalizado principalmente en la nueva edificación y ha mostrado un comportamiento cíclico ligado a la situación económica en cada momento. La rehabilitación y reforma de edificios permite reenfocar este sector e incrementar la calidad y cualificación de empleo. Según varios estudios, se estima que por cada millón de euros invertidos en rehabilitación energética se generan entre 8,3⁶⁸ y 18⁶⁹ empleos.
- ▶ Una mejor monitorización de los consumos energéticos en la edificación gracias a la digitalización y mayor accesibilidad de los datos permite también una mayor sensibilización sobre necesidades energéticas y patrones de comportamiento más eficientes.
- ▶ Las aplicaciones inteligentes y la interacción entre los edificios y la red eléctrica favorecen la flexibilidad, la resiliencia del sistema y la capacidad de adaptarse a los impactos del cambio climático sobre la generación y distribución de energía.
- ▶ La rehabilitación energética de la edificación puede coordinarse con otras mejoras. La introducción de mejoras estructurales, de accesibilidad o de la calidad del parque edificado pueden aprovecharse para la mejora de la eficiencia energética y viceversa, ligando el mejor rendimiento energético de los edificios a una mayor calidad de vida.
- ▶ Un mayor y mejor uso de la biomasa conlleva incremento de la gestión y mejora de las masas forestales y por tanto una reducción en el riesgo de incendios, un elevado ahorro de emisiones de CO₂ como consecuencia de la cercanía del recurso y efectos económicos derivados en el ámbito rural, como la fijación de población o mejor gestión del territorio. Ahora bien, es importante tener presente las emisiones de partículas al objeto de que el avance en la tecnología no implique afecciones a la salud de las personas.

⁶⁸ "La generación de empleo en la rehabilitación y modernización energética de edificios y viviendas". Guillermo Arregui Portillo y otros. Editado por la Fundación Conde del Valle de Salazar, 2010. Cofinanciado por el Fondo Social Europeo.

⁶⁹ "La rehabilitación de edificios como motor de crecimiento y empleo. CEOE, 2014.

C.4 INDUSTRIA SOSTENIBLE Y COMPETITIVA

C.4.I Situación actual

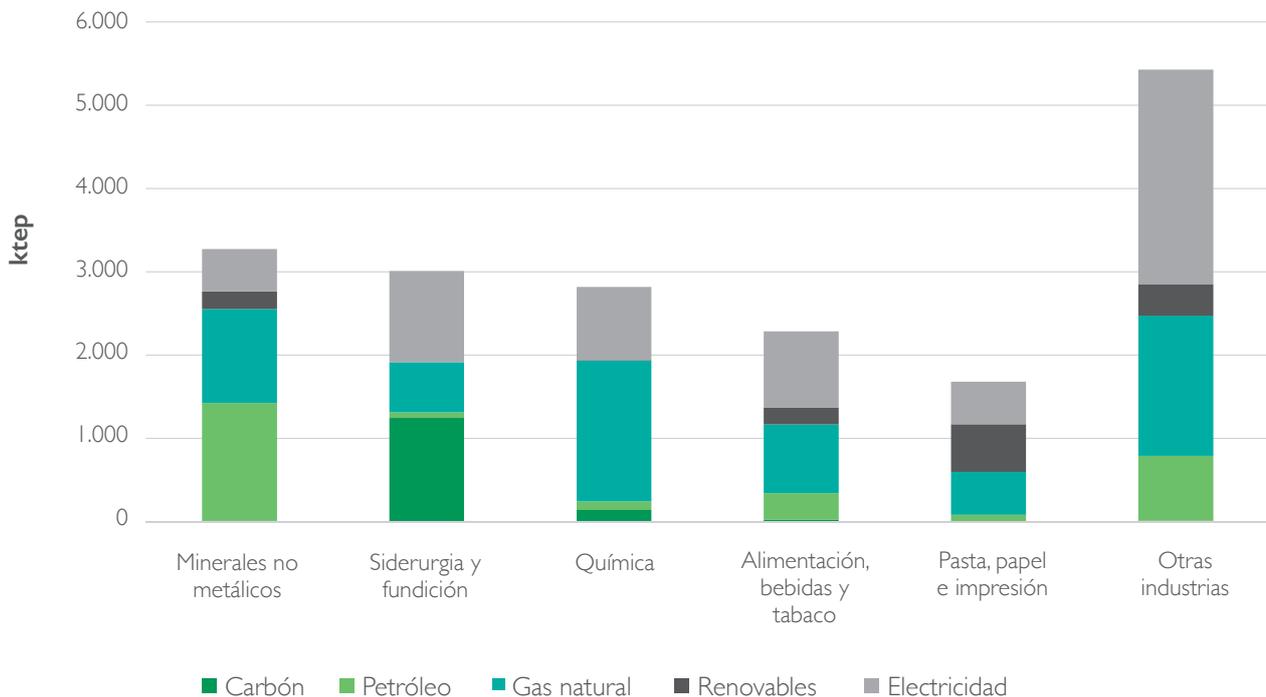
Las industrias con uso intensivo de energía son unos de los principales emisores de carbono. La producción de acero, la petroquímica, el cemento, la cerámica, el vidrio, el papel y la alimentación son los sectores con la intensidad de CO₂ más alto. Estos sectores son responsables de alrededor del 64% del total de las emisiones industriales en la UE.

Algunas características de la industria intensiva en energía dificultan la descarbonización del sector. Por ejemplo, los equipos de procesos productivos primarios se caracterizan por altos costes de inversión inicial y se diseñan con una vida útil muy larga, por ejemplo, de hasta 50 años en el caso de las plantas de cemento.

La industria ha realizado numerosos esfuerzos en el pasado, derivados fundamentalmente de la propia necesidad de mantener su competitividad económica (y por tanto reducir el coste de energía y CO₂ asociado a su actividad). No obstante, debido a las características del sector, sigue suponiendo un 23,5% del consumo de energía nacional.

La siguiente figura muestra el consumo en España de los distintos combustibles por parte de los sectores industriales intensivos en energía.

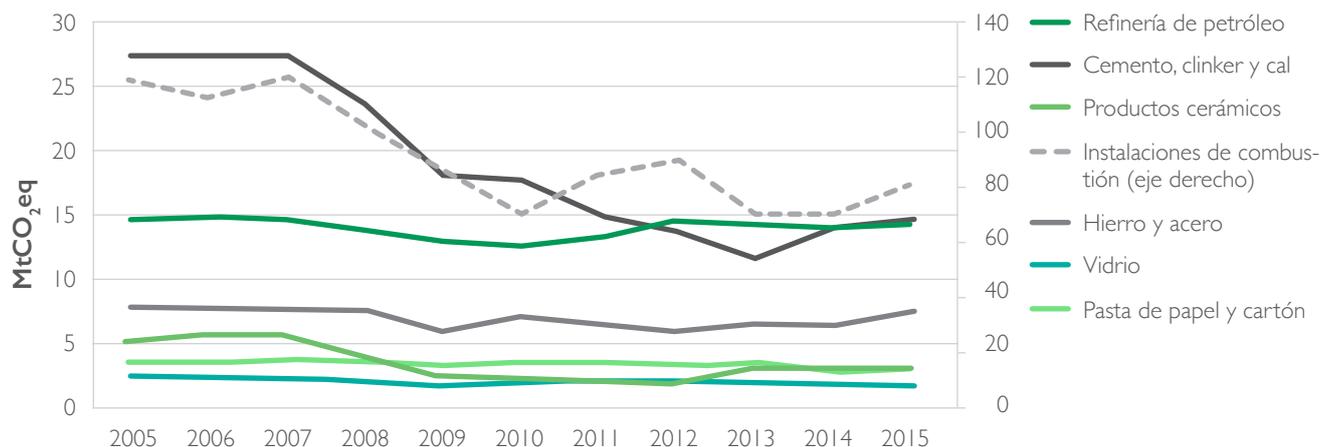
FIGURA C.20 Consumo de energía en la industria en España (ktep)



Fuente: *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2018*

Este consumo de energía se tradujo en unas emisiones de gases de efecto invernadero de **74 MtCO₂eq en 2015** (incluyendo el refinado de petróleo), un 22% del total de emisiones de GEI en España en el citado año. Esas emisiones fueron significativamente inferiores a las que produjo el sector en los años anteriores al 2008, como puede observarse en la figura siguiente. En particular el sector del cemento redujo en gran medida sus emisiones en ese período.

FIGURA C.21 Evolución de las emisiones GEI en diversos subsectores industriales, 2005-2015



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

La variación de emisiones en el periodo 2008 al 2015, se debe a varios motivos: una reducción de la intensidad energética, una reducción de la intensidad en carbono, a lo que se le suman los efectos estructurales y de actividad de los sectores.

De cara a lograr los objetivos de descarbonización industrial previstos a largo plazo, es preciso responder a varias cuestiones relacionadas entre sí:

- ▶ Estimación del nivel futuro de la actividad industrial en España.
- ▶ Qué tipo de materiales se utilizarán (y en particular el alcance del reciclaje y reutilización), su procedencia y garantía de suministro.
- ▶ Cuáles serán los vectores energéticos.
- ▶ Qué cambios tecnológicos son previsibles en la industria.

Estas preguntas corresponden a las planteadas por la Comisión Europea para definir su visión a largo plazo, basándose en el informe especial del año 2018 del IPCC que define las medidas a nivel global para limitar el calentamiento a 1,5°C.⁷⁰

Adicionalmente, la Comisión Europea está realizando una evaluación de las **materias primas críticas**. Los perfiles de la demanda de dichos minerales cambiarán significativamente en las próximas décadas. Por ello, al plantearse cuáles se utilizarán, se deben abordar los riesgos de escasez y abastecimiento, así como la volatilidad de los precios de materias primas críticas y tierras raras, ya que podrían obstaculizar las perspectivas de sostenibilidad, eficiencia y competitividad de la industria.

Los apartados a continuación tratan de dar una visión global de cuáles pueden ser las tendencias en estos aspectos clave, comenzando por la posible evolución de la actividad productiva, continuando por las áreas tecnológicas en las que se esperan mayores avances y por los principales retos y oportunidades que la descarbonización supone para el sector; y por último, planteando los instrumentos económicos complementarios que podrían contribuir a preservar la competitividad de la industria nacional y europea.

⁷⁰ Los resultados del informe señalan que se debe (i) reducir la demanda industrial, (ii) mejorar la eficiencia energética, (iii) aumentar la electrificación de la demanda energética, (iv) reducir el contenido de carbono de los combustibles no eléctricos y (v) implementar procesos innovadores y la aplicación de la captura de CO₂ (CCUS).

C.4.2 Horizonte 2050

C.4.2.1 Evolución futura de la producción de materiales básicos en España

El análisis de la producción de materiales básicos en España debe enmarcarse, por un lado, en el contexto global de evolución de la producción de dichos materiales; y por otro, en la influencia de las estrategias de economía circular.

El análisis global es relevante ya que muchas de las materias primas se comercializan a nivel mundial.

En el escenario base de la Comisión Europea, **el consumo energético desciende en todos los sectores industriales que se estudian en detalle (acero, química, minerales no metálicos, papel, metales no ferrosos, refinерías).**

Para los ocho escenarios diferentes que se plantean, la trayectoria de la producción varía entre una subida de la demanda de casi todas las materias primas en el escenario de referencia (REF) y un descenso de casi todas ellas en el escenario más ambicioso de descarbonización de la industria (alcanza una reducción de emisiones del 95%).

Ahora bien, para llevar estas estimaciones al caso de España es necesario evaluar la situación en la que se encuentra España respecto al resto de países europeos. Para ello se ha realizado un análisis de consumos per cápita, (así como la extensión geográfica, relevante por ejemplo a efectos de infraestructuras). Los resultados se presentan en la tabla siguiente, comparándose con los obtenidos por los estudios a escala europea.

Como puede observarse, las previsiones para España están en líneas generales alineadas con las de la Comisión Europea. En todo caso, es preciso recordar que el nivel de producción vendría determinado por los consumos nacionales, pero también por las importaciones y exportaciones correspondientes.

Tabla C.2 Estimación del consumo de materias primas en España (kg/persona/ año)

| | Consumo actual | Consumo futuro estimado | Diferencia | Tasas de crecimiento de las materias primas en Europa basadas en diferentes estudios | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|-------------------------|------------------|--|--------|----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------|-----------|-----|
| | | | | OCDE | INTRAW | Lechtenbömer et. al. | Material Economics | Circular Economy (CIRC) | Modelo Forecast | | |
| | | | | | | | | | Min (95%) | Max (REF) | |
| Cemento | 270 kg | 300 – 500 kg | +10% hasta +80% | 50 - 100% | | | | | -8% | -2% | 23% |
| Acero | 220 kg | 250 – 300 kg | +15 % hasta +35% | | | 0% | 0% | | -6% | -8% | 2% |
| Aluminio | 13 kg | 13 – 16 kg | hasta +25% | | 0% | | 33% | | -3% | 4% | 6% |
| Papel | 130 kg | 130 – 150 kg | -10% hasta +15% | 0% | | | | | -12% | 10% | 10% |
| Acero Plástico | 83 kg | 80 – 90 kg | -5% hasta +10% | | | 0% | 25% | | -9% | | |

Fuente: Instituto de Investigación Tecnológica, Comillas, 2019

C.4.2.2 Estrategias de reducción de emisiones en el horizonte 2050

Una vez analizadas las posibles tendencias en cuanto a nivel de consumo y de producción nacional de los materiales básicos, la siguiente pregunta es cómo pueden satisfacerse las necesidades, y a la vez descarbonizar los procesos de producción.

Se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de la literatura académica y profesional, como resultado de la cual se han identificado las opciones principales de reducción de emisiones (la siguiente presenta dichas estrategias, agrupadas por algunos de los principales sectores). La mayoría de estas áreas de reducción son relevantes para más de una industria.

FIGURA C.22 Áreas de opciones de reducción de emisiones más mencionadas en la literatura analizada

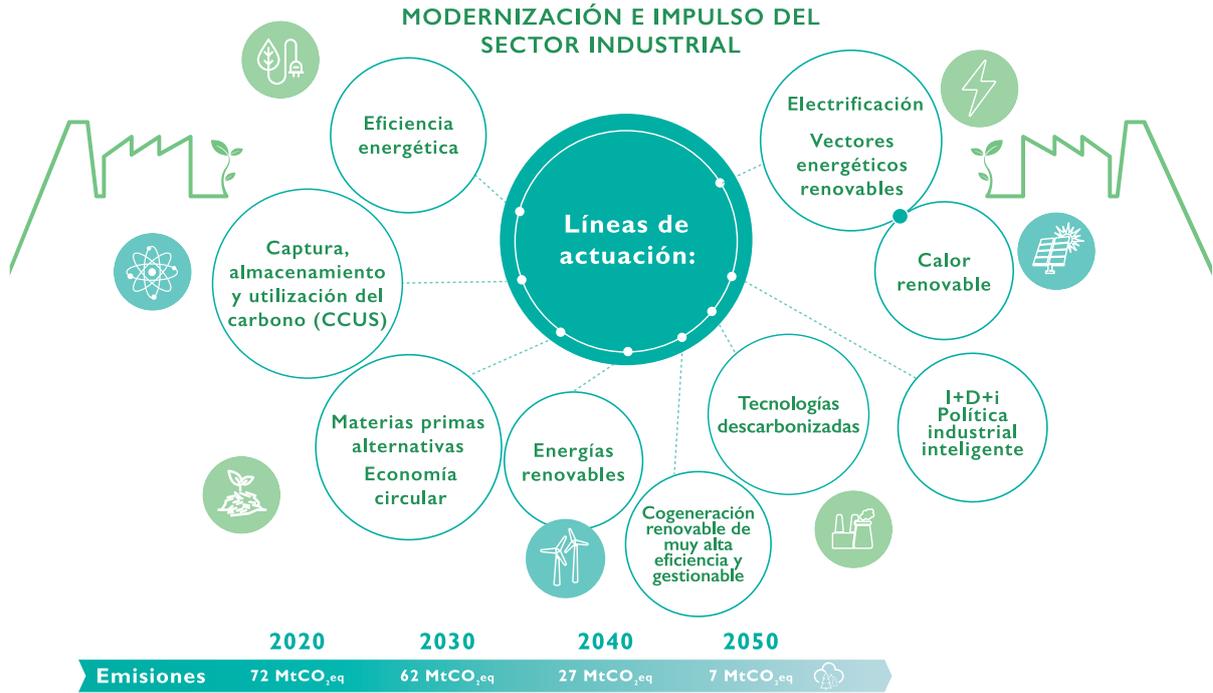
| | Siderurgia | Petroquímica | Cemento | Papel y pasta | Cerámica | Vidrio | Alimentación | |
|------------------|------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|
| 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 | Precalentador | 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 rojo están relacionadas con el suministro de energía en forma de calor.
- ▶ El color naranja 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, Comillas, 2019

La evolución de la transición industrial puede apreciarse en la siguiente figura, que muestra además las principales líneas de actuación en el sector industrial.

FIGURA C.23 Industria sostenible y competitiva



Fuente: Instituto de Investigación Tecnológica, Comillas, 2019

A continuación, se describen los principales potenciales de reducción de emisiones de cada una de las alternativas.

C.4.2.2.1 Materias primas alternativas (incluidos la reutilización y el reciclado)

Se trata de utilizar materias primas que resulten en una reducción de emisiones de GEI en todo el ciclo de vida del producto, incluyendo el uso de materiales reutilizados o reciclados. A este respecto, el informe elaborado por Material Economics (2018) señala el potencial económico e industrial de aumentar la reutilización de materiales en Europa. En el caso del acero, por ejemplo, España cuenta ya con una elevada capacidad de producción de acero basada en arco eléctrico a partir de chatarra, además persisten algunas barreras para utilizar acero secundario en algunas aplicaciones.

En el caso del cemento, aunque la posibilidad de reutilizar y reciclar es limitada, los sustitutos del *clinker* pueden reducir las emisiones de manera significativa, si bien posiblemente sean necesarios nuevos diseños de procesos. En el sector de la cerámica se espera que nuevos aditivos o pequeños cambios en la composición de la materia prima resulten en mejoras incrementales con respecto a la intensidad de emisiones de producción.

⁷¹ "The circular economy. A powerful force for climate mitigation", Material Economics, 2018: <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation-1>

Dicho lo anterior, tras agotar la opción de la reutilización y el reciclado, cuando sea preciso recurrir a materias primas para alimentar los procesos productivos, el criterio que deberá prevalecer, en la medida de su viabilidad económica, será el aprovechamiento del potencial de recursos minerales domésticos bajo estándares medioambientales y de sostenibilidad europeos que no desplacen las emisiones de gases de efecto invernadero hacia otras regiones, contribuyendo también a la disminución de las emisiones globales al reducir las de su transporte.

Lo anterior implicará configurar una política nacional de materias primas autóctonas que garantice que los recursos se explotan de forma económicamente viable y sostenible, utilizando las mejores técnicas disponibles, asegurando la reducción de emisiones en el sector y disminuyendo en la medida de lo posible la dependencia de las importaciones.

Hay que configurar una política nacional de materias primas autóctonas que garantice que los recursos se explotan de forma económicamente viable y sostenible, utilizando las mejores técnicas disponibles, asegurando la reducción de emisiones en el sector y disminuyendo en la medida de lo posible la dependencia de las importaciones.

C.4.2.2.2 Reducción de la intensidad energética (mejora de la eficiencia)

Las vías fundamentales para mejorar la eficiencia energética de los procesos industriales, además de la **instalación de equipos más eficientes, como hornos tanto de alta temperatura (más de 500°C) o de media y baja temperatura (menos de 500°C), son la recuperación de calor y la cogeneración, esta última siempre bajo criterios de sostenibilidad y eficiencia.**

Respecto a la recuperación de calor, la utilización de calor residual de procesos de alta temperatura para otras aplicaciones con una demanda de calor inferior no es un concepto novedoso. En los sectores analizados (siderurgia, petroquímica, cemento, pasta y papel, cerámica y vidrio) las emisiones se pueden reducir alrededor de un 5% (con rangos según la fuente y el sector entre el 2,5% y el 15%), si bien se requiere un rediseño de los flujos de recuperación y equipos estandarizados como nuevos intercambiadores de calor.

En cuanto a la cogeneración, la cerámica y la producción alimentaria son sectores con una alta demanda de calor y de electricidad, por lo que la es una opción viable (siempre que sea de alta eficiencia y renovable). Para el sector petroquímico se supone que ya existe una alta penetración de esta tecnología, haciendo que reducciones adicionales sean difíciles de lograr. Un reto adicional para la cogeneración es lograr que sea flexible, para adaptarse a la demanda eléctrica.

C.4.2.2.3 Descarbonización de los vectores energéticos

La tercera línea de actuación es la utilización de vectores energéticos sin emisiones de CO₂ para la alimentación de hornos, para la provisión de calor de proceso, etc. Comprende la electrificación (basada en fuentes renovables), la biomasa, el biogás y el hidrógeno o, más en general *Power-to-X*, y otras energías renovables como la solar térmica.

Electrificación:

Para la industria alimentaria y la de la pasta y el papel, las aplicaciones de calor directo a menos de 500°C de temperatura son las principales emisoras de CO₂. **La electrificación se presenta como una de las alternativas principales para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y parece factible utilizar bomba de calor para temperaturas inferiores a 200°C, situando en ese rango de temperaturas a las bombas de calor antes que otras tecnologías electromagnéticas, que también podrían tener su aplicación en estos u otros sectores.**

Dado que los intervalos de temperatura en el sector de pasta y papel son significativamente mayores que en el de alimentos, la electrificación de los equipos existentes es menos atractiva para este sector. Sin embargo, las tasas elevadas del consumo de combustibles fósiles para aplicaciones de secado en la industria de la pasta y del papel, resultan en un potencial teórico mayor que para el sector de alimentación. La electrificación de la industria alimentaria está cerca de comercializarse y muchos proyectos pilotos están en curso.

Biomasa:

La biomasa puede desempeñar **un papel importante en la descarbonización de la industria del cemento, y en general, para la producción de calor por encima de 200°C en otros sectores.** Puede servir como combustible con poco pre-tratamiento. Independientemente de los límites con respecto a la disponibilidad de la biomasa y las capacidades restringidas de la extensión de la producción, el uso de flujos internos de residuos de origen biológico puede desempeñar un papel importante en la descarbonización de los sectores con materia prima de base biológica, en particular en la industria alimentaria y de pasta y papel.

En cualquier caso, es preciso tener en cuenta que la biomasa puede suponer emisiones de CO₂, según su proceso de producción y transporte, además de las emisiones de partículas.

Biogás:

El biogás puede ser un vector energético de interés, ya que **presenta ventajas de poder calorífico y compatibilidad con los procesos industriales actuales.** Sin embargo, su potencial no parece ser muy elevado en un contexto de economía circular en el que la prioridad apuntaría a la reducción de la generación de residuos. En cualquier caso, puede encontrar nichos relevantes para su utilización.

Hidrógeno y Power-to-X:

La producción de hidrógeno a través de la tecnología de electrólisis puede sustituir el uso de fuentes fósiles como combustible en muchos procesos de producción sin la necesidad de un cambio profundo de los actuales procesos de producción industrial, permitiendo cubrir necesidades de calor tanto a alta, como media y baja temperatura.

Quemar hidrógeno no emite CO₂ siempre que se haya producido a partir de fuentes energéticas renovables. El reto es la intensidad energética de su proceso de producción.

Asimismo, el empleo del hidrógeno en la siderurgia como vía para lograr una reducción directa del hierro, es una opción para descarbonizar ese sector.

Alternativamente, **también pueden considerarse otros vectores energéticos producidos a partir de electricidad renovable (Power-to-X).** Aunque estos vectores se mencionan habitualmente por su capacidad para almacenar temporalmente energía eléctrica, podrían tener un papel similar al hidrógeno, por lo que su utilización dependerá de su competitividad económica con ese u otros vectores similares.

Otras energías renovables:

Otras energías renovables, en particular la solar térmica (CSP), pueden proveer de calor tanto a alta como a media y baja temperatura a diversas industrias siendo una alternativa viable en el futuro.

C.4.2.2.4 Cambio de procesos tecnológicos

Lograr una reducción importante de emisiones en la industria precisa en buena medida que los métodos de separación térmicos actuales sean reemplazados por **procesos de separación mecánicos (membranas)**. En comparación con los primeros, la separación basada en membrana requiere un 90% menos de energía. Algunas publicaciones especializadas consideran que las nano-membranas serán una de las claves para lograr los objetivos de la descarbonización industrial. Esta nueva tecnología se encuentra todavía en las primeras fases de investigación. Las aplicaciones actuales están limitadas por las bajas purezas que se logran.

La destilación por membrana (MD) o la destilación híbrida (combinación de membrana y tecnología de destilación) muestran que, para la separación de sustancias casi ideales como el procesado en el sector petroquímico, son posibles potenciales de ahorro de energía de hasta 30% en comparación con la destilación. La energía se utiliza en forma de presión en vez de calor. La eficiencia energética de aplicaciones MD con temperaturas más bajas como de ósmosis inversa puede ser mejorada si se combina con procesos de recuperación de calor.

Las aplicaciones de membranas se encuentran todavía en fase piloto o de laboratorio. La información disponible no permite la cuantificación del potencial de reducción para el sector ya que las aplicaciones son demasiado específicas para los procesos de las diferentes rutas de producción.

Asimismo, **las técnicas de separación electroquímicas como la electrólisis** en combinación con electricidad de cero emisiones se presentan como una alternativa al uso de hornos y es una de las opciones más mencionadas para la siderurgia.

Lograr una reducción importante de emisiones en la industria, precisa en buena medida que los métodos de separación térmicos actuales sean reemplazados por procesos de separación mecánica de membranas, que requieren un 90% menos de energía.

C.4.2.2.5 Captura, almacenamiento y utilización de carbono

La utilización de la tecnología CCUS ha sido ampliamente investigada para los sectores analizados. En la práctica, el CCUS como una solución tipo “*end-of-pipe*” solamente parece tener una viabilidad clara en la industria del cemento, la cal, la de los fertilizantes y la industria de pasta y papel.

En los tres primeros casos el uso del CCUS puede ser la única opción para eliminar las emisiones de proceso. En función de la evolución de otras alternativas también podrá ser de utilidad en la siderurgia y el refinado⁷². En cualquier caso, es necesario el total rediseño del proceso industrial si los gases de escape no alcanzan altos niveles de concentración de CO₂.

Los altos costes y las cuestiones sin resolver en relación con el almacenamiento o la inexistencia de alternativas realistas para la utilización de forma perdurable del carbono capturado a gran escala, han dificultado y dificultan la comercialización de esta tecnología. En el caso de la captura de carbono en el sector de cemento, que es una de las opciones más económicas, los costes adicionales de la energía por la captura suponen hasta una 70% adicional a los costes totales de producción. Como consecuencia, se ha visto hasta la fecha muy poco avance en la introducción de CCUS a gran escala.

El almacenamiento o el uso de CO₂ en la fabricación de materiales perdurables son alternativas que han de ser objeto de estudios de viabilidad a largo plazo. Actualmente existen análisis preliminares de posibles alternativas de almacenamiento realizados por el Instituto Geológico y Minero de España. A nivel de usos en materiales perdurables no se esperan avances relevantes hasta dentro de al menos dos décadas.

⁷² En la siderurgia dependerá de si las tecnologías basadas en hidrógeno avanzan lo suficiente, en cuyo caso no sería necesario el CCUS. En el refinado el CCUS puede tener interés para, por una parte, producir combustibles sintéticos, y por otra, generar emisiones netas negativas a partir de materia prima como la biomasa.

C.4.3 Retos y oportunidades

Se presentan cinco conclusiones principales sobre el proceso de la descarbonización industrial hasta 2050, haciendo hincapié en las brechas de conocimiento que la investigación científico-técnica debería abordar:

Optimización de procesos con equipos estandarizados

Los procesos principales de las diferentes industrias intensivas en energía (IIEs, por sus siglas en inglés) están hechos a medida para la fabricación de materias primas específicas. Las mejoras incrementales en la eficiencia de los equipamientos de los procesos, como columnas de destilación, hornos y rutas de secado son probables, pero las innovaciones siguen siendo específicas para cada sector.

Existen ciertas sinergias intersectoriales de nuevos equipos para los procesos de calefacción de baja temperatura y procesos auxiliares. Equipos como los intercambiadores de calor, las bombas de calor o las calderas (híbridas) están estandarizados para rangos de temperatura medio-bajo y pueden ser una opción efectiva para reducir la huella de carbono de todo el sector industrial.

Los avances en áreas como la recuperación de calor, el suministro de calor o el control de procesos permitirán reducir las emisiones en las primeras etapas de la descarbonización sin necesidad de cambiar las rutas de producción de los sectores que las utilizan actualmente.

La mejora de eficiencia y la electrificación de los procesos térmicos serán muy importantes, aunque también tienen sus límites. La electrificación es factible sólo para aquellos procesos que requieren temperaturas de operación bajas y medias.

Por su parte, hay que señalar que las tecnologías de cogeneración (CHP) basadas en el uso de combustibles fósiles pierden protagonismo hacia el futuro al generar emisiones de CO₂ y no contribuir a la eficiencia de la generación eléctrica en escenarios casi 100% renovables y eficientes.

Los avances en áreas como la recuperación de calor, el suministro de calor o el control de procesos, permitirán reducir las emisiones en las primeras etapas de la descarbonización, sin necesidad de cambiar las rutas de producción de los sectores que las utilizan actualmente.

Tecnologías innovadoras

La optimización de los procesos de producción actuales no es suficiente para alcanzar los objetivos de mitigación previstos en esta Estrategia. **Son necesarias innovaciones en todos los sectores intensivos en el uso de la energía.**

Entre otros, son necesarias nuevas tecnologías y procesos innovadores para el acero, el cemento y la química.

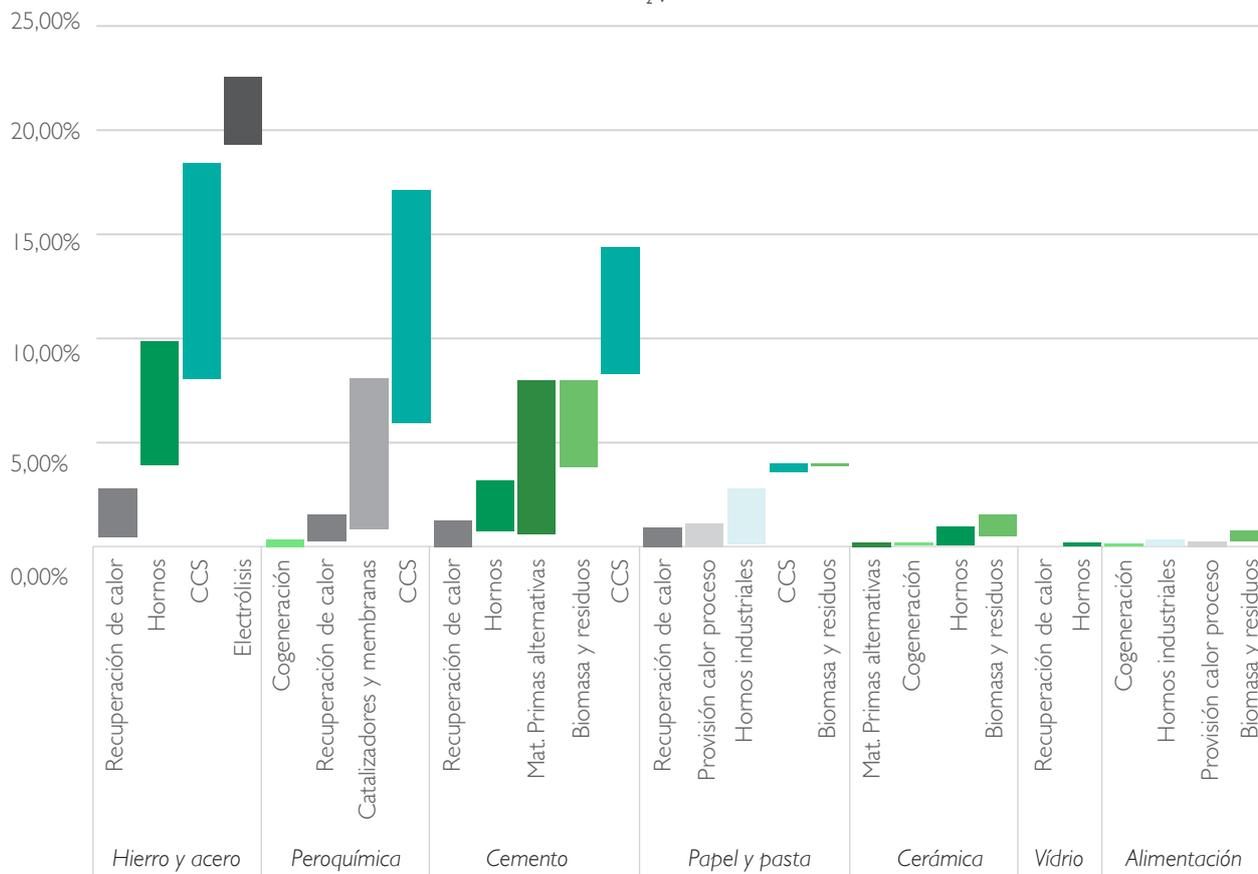
Una posible respuesta **podría venir del hidrógeno renovable o Power-to-X** como vectores energéticos descarbonizados que no requieren transformaciones relevantes para ser utilizados para la generación de calor a altas temperaturas. Si pudieran ser generados, transportados y utilizados de forma masiva, podrían permitir la descarbonización casi total de la industria (salvo por las emisiones de proceso), aunque el coste de esas tecnologías es aún una incógnita.

La electrólisis podría permitir la descarbonización profunda de la **siderurgia**. La electrificación de los procesos del secado y del calentamiento será clave para las industrias de la **pasta y del papel, la alimentación y el vidrio**. En la del **cemento**, el CCUS y las materias primas alternativas ofrecen los potenciales más altos de reducción de emisiones. Las nuevas membranas y la captura del carbono se mencionan como prometedoras en la industria **petroquímica**. Una alta proporción de biomasa podría ser la solución para el sector de la **cerámica**. La mayoría de estas soluciones son específicas para cada sector y las tecnologías mencionadas no están listas aún para el mercado.

ANEXO C. DESCARBONIZACIÓN SECTORIAL

Una comparación del potencial de reducción de emisiones de las nuevas tecnologías en los diferentes sectores identifica cuatro áreas clave (distintas del uso de hidrógeno): nuevas tecnologías de membrana, producción de acero neutra en carbono, materiales alternativos al *clinker* en la industria del cemento, y CCUS. En la siguiente figura se muestran valores basados en rangos máximos y mínimos.

FIGURA C.24 Potencial de reducción de las emisiones de CO₂ por sectores



Fuente: Revisión del estado del arte. Instituto de Investigación Tecnológica, Comillas, 2019

Cada una de estas tecnologías podría reducir las emisiones industriales entre un 8% y hasta más del 20% en los sectores analizados. No obstante, tal y como ya se ha señalado, a día de hoy la aplicación de las mismas a escala comercial no es factible.

De hecho, la producción de acero neutro en carbono y la tecnología de membranas se encuentran en fases tempranas de investigación. Asimismo, ningún material alternativo para la producción de cemento es más competitivo que el *clinker* a base de piedra caliza. Por su parte, la captura de carbono se ha implementado a escala piloto, pero los costes operativos y la incertidumbre con respecto al almacenamiento dificultan su implementación. La viabilidad comercial de la electrólisis podría darse entre 2030 y 2040.

Preparación tecnológica y ciclos de inversión

La viabilidad comercial de la mayoría de las opciones tecnológicas analizadas no se espera hasta después de 2030. En ese contexto, la velocidad con la que las instalaciones existentes se reemplazan por las nuevas tecnologías es un factor importante para la evaluación de las opciones para la descarbonización industrial. Un sector caracterizado por la longevidad de sus equipos de proceso.

La sustitución y renovación de tecnologías de proceso existentes depende de la vida útil restante de los equipos instalados, sus costes operativos y los costes previstos para las nuevas tecnologías.

El análisis presentado muestra que las innovaciones relacionadas con CCUS, biomasa, residuos, materias primas alternativas e hidrógeno a menudo requieren un rediseño de los procesos de producción y no serán implementadas en consecuencia a corto plazo. Solamente las mejoras de la provisión de calor auxiliar, la recuperación y la reutilización de calor no implican cambios en el sistema de producción. La penetración de mercado de nuevas soluciones comercialmente competitivas en estas áreas se llevará a cabo de forma incremental en un horizonte de tiempo a medio plazo.

Los cambios asociados a todo el sistema de producción tienen un horizonte temporal de 20 años. Algunos equipos tienen una vida económica de 40 a 50 años. Si se sustituyen hoy en día seguirán en operación hasta post-2050 si los costes de oportunidad para instalaciones alternativas no justifican el reemplazo prematuro. Esta dependencia de la trayectoria de las tecnologías ha de ser considerada en la formulación refinada de las políticas específicas destinadas a la descarbonización industrial profunda para 2050.

La descarbonización de la industria se debería producir en el marco de una actuación más amplia, que asegure la competitividad internacional de los sectores nacionales y europeos que se consideren estratégicos, combinando apoyos a la innovación, y con el acompañamiento de ciertos sectores para minimizar los efectos negativos sobre el empleo, tal y como se ha abordado en la Estrategia de Transición Justa.

Implicaciones intersectoriales de las innovaciones

En algunos casos, las opciones de mitigación para el sector industrial requieren el desarrollo de infraestructuras externas. La tecnología CCUS, por ejemplo, solamente es factible si existe la infraestructura de transporte y de almacenamiento, o alternativas realistas para el uso del carbono de forma perdurable. Así, será más probable que sea económicamente factible dentro de conglomerados industriales con una infraestructura de transporte compartido, que para plantas aisladas construidas en las proximidades de las fuentes y minas de sus materias primas.

Los procesos que utilicen el día de mañana hidrógeno en lugar de combustibles fósiles requerirán el desarrollo de una economía basada en el mismo. Hoy día, el uso de hidrógeno se presenta como elemento esencial de la descarbonización de procesos industriales, cuando anteriormente la captura y el almacenamiento de CO₂ habían dominado el debate sobre la descarbonización de las industrias con pocas posibilidades tecnológicas de reducción de emisiones como el caso del sector de cemento. Los costes muy elevados de la captura de CO₂ y la pregunta sin resolver sobre la viabilidad del almacenamiento subterráneo o del uso perdurable son, como ya se ha señalado con anterioridad, las barreras principales para la introducción de esta tecnología.

En la evaluación de las hojas de ruta sectoriales hacia la descarbonización que han sido analizadas, **tanto el CCUS como la electrificación o la economía de hidrógeno se consideran transformaciones de sistemas.**

Los procesos electrificados solamente serán neutros en carbono si la electricidad se genera por fuentes renovables y ello requerirá generalmente la extensión de un único sistema existente, la red de transporte o distribución de electricidad.

Por su parte, tanto el CCUS como la economía del hidrógeno harán necesarios nuevos sistemas de distribución, transporte y almacenamiento. Teniendo en cuenta que tanto el CCUS como el hidrógeno son alternativas que pueden contribuir a la descarbonización manteniendo los procesos actuales de producción, **se pueden considerar procesos que entran en competencia.** El peso de las ventajas y las desventajas de ambas tecnologías decidirá su futura implementación, coexistencia y competencia.

Por último, es necesario reflexionar sobre una serie de retos más transversales:

- ▶ La descarbonización de la industria se debería producir en el marco de una actuación más amplia que asegure la **competitividad internacional de los sectores nacionales y europeos** que se consideren estratégicos, y que debe combinar apoyos para la innovación requerida para esta competitividad.
- ▶ Y, por otro lado, la descarbonización hará necesario el **acompañamiento de ciertos sectores lo largo de la transición** para minimizar los efectos negativos sobre el empleo, tal y como se ha abordado en la Estrategia de Transición Justa.

C.4.4 Instrumentos económicos para garantizar la competitividad de la industria nacional y europea

Es fundamental contar con elementos de protección de la competitividad de la industria nacional y europea.

En línea con el “*European Green Deal*”, la primera opción son los **ajustes en frontera** para imponer un precio al CO₂ sobre los productos importados (en función de su intensidad en carbono), y potencialmente reembolsando a las exportaciones.

Por otro lado, el desarrollo de la compra pública verde ayudará a las administraciones públicas a 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.

El desarrollo de la compra pública verde ayudará a las administraciones públicas a controlar las emisiones embebidas en las infraestructuras o edificios que encargan.

C.5 SECTORES DIFUSOS NO ENERGÉTICOS

Los sectores difusos son aquellos no incluidos en el régimen europeo de comercio de derechos de emisión englobando el transporte, el sector residencial, comercial e institucional, la gestión de residuos, la agricultura y la pequeña industria.

Dentro de esos sectores están aquellos cuyas emisiones principales no se derivan del uso de la energía, como son:

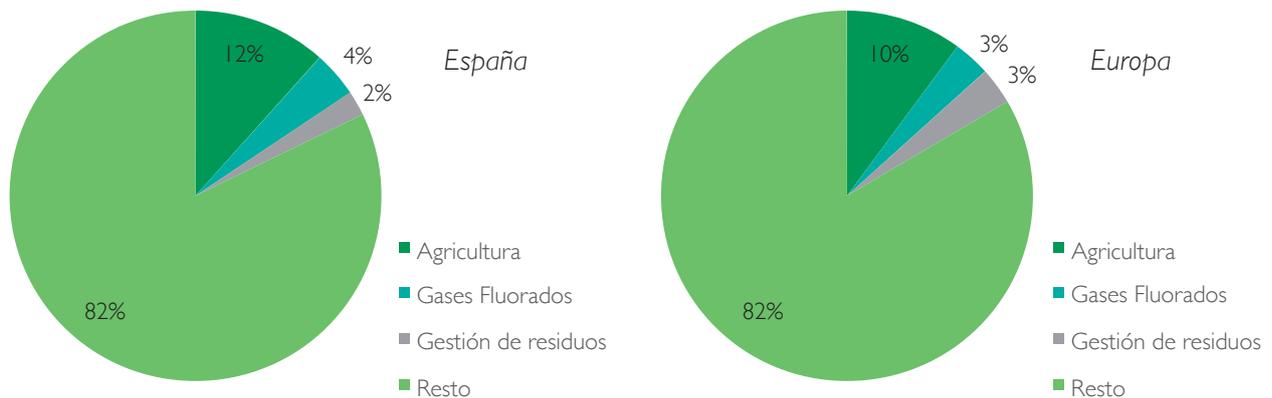
- a) La **agricultura**, que emite fundamentalmente **N₂O** por el uso de fertilizantes, y la **ganadería** que emite **CH₄** y **N₂O** por la digestión entérica y el tratamiento de las deyecciones.
- b) El tratamiento de **residuos** que emite **CH₄** principalmente por la descomposición de la materia orgánica.
- c) Las emisiones por fugas de los **gases frigoríficos y otros gases fluorados**.

Al conjunto anterior de sectores, y gases diferentes al CO₂ de origen fósil, se los denomina difusos no energéticos (DNE) y sus emisiones se reportan en CO₂ equivalente de acuerdo a los potenciales de calentamiento atmosférico (PCA) de cada gas de efecto invernadero.

En el año 2018, el conjunto de estos sectores supuso, según el Inventario Nacional Gases de Efecto Invernadero (NIR 2020, por sus siglas en inglés *National Inventory Report*), el **18% del total de las emisiones nacionales**. Los de la agricultura y ganadería representaron el 12%, los de la gestión de residuos el 4% y los de los gases fluorados el 2%.

A escala europea, la situación de estos sectores es muy dispar; ya que está condicionada al modelo productivo de cada país, a los distintos grados de desarrollo y al modelo de gestión de residuos. A pesar de esa disparidad entre Estados miembros, y como muestra la siguiente gráfica, la distribución porcentual de España está en la media europea (UE28).

FIGURA C.25 Reparto de las emisiones no energéticas de los sectores difusos, 2018



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico a partir de datos de Eurostat e Inventario Nacional de Emisiones de GEI

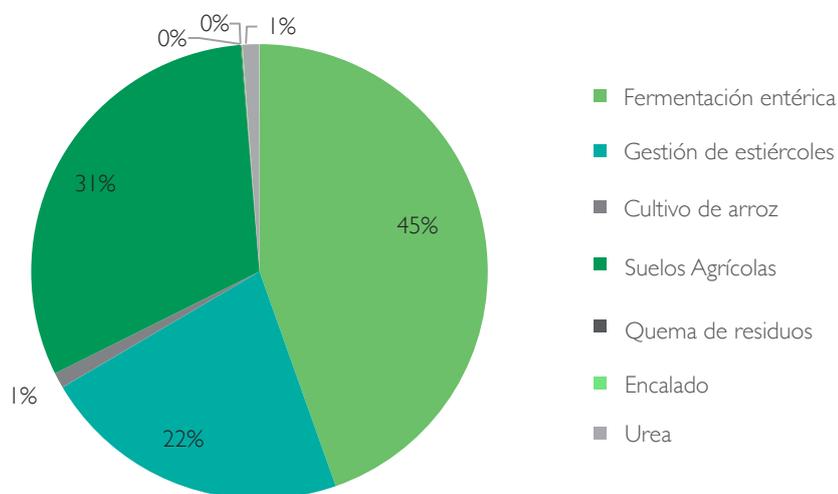
C.5.1 Sector agropecuario

Las emisiones de gases de efecto invernadero del sector agrario están generadas fundamentalmente por la ganadería (**fermentación entérica y gestión de estiércoles**). Suponen dos terceras partes del total de las emisiones. Otro contribuidor importante es la gestión de los suelos (incluye el **uso de fertilizantes**) que representa un tercio del total de las emisiones. Otros sectores minoritarios son el cultivo del arroz o la fertilización con urea.

En el año 2018 las emisiones de este sector supusieron 39,6 Millones de toneladas de CO₂eq, el 11,9% de las emisiones totales (NIR 2020).

La siguiente figura presenta la distribución de las emisiones GEI de la agricultura-ganadería entre las diferentes categorías, de acuerdo al último Inventario Nacional de Emisiones.

FIGURA C.26 Distribución de emisiones de GEI del sector agrario en 2018



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

Por tipología de gases destacan el metano (CH₄), proveniente del sector ganadero (fermentación entérica y gestión de estiércoles), y el óxido nitroso (N₂O), proveniente de la aplicación de fertilizantes nitrogenados inorgánicos y orgánicos, y también de la gestión de estiércoles.

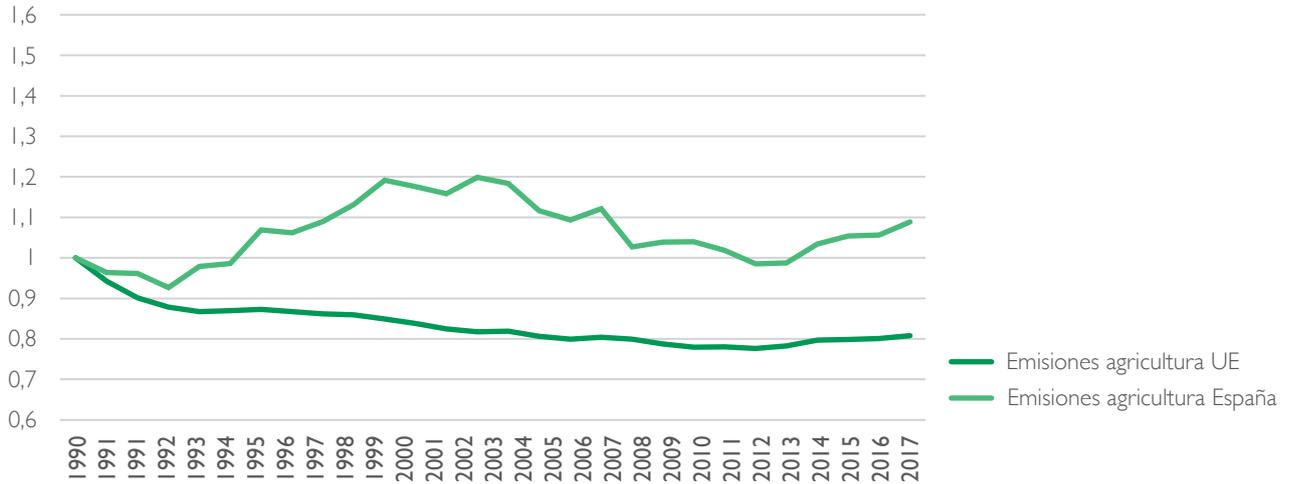
Los principales parámetros que inciden en la generación de emisiones en el sector ganadero son el número de cabezas de la cabaña ganadera, el tipo de ganado y su alimentación, así como el tratamiento de los estiércoles producidos. En el caso de la agricultura los principales factores son la cantidad de fertilizantes aplicados al suelo, los tipos de cultivos y su rotación.

C.5.1.1 Situación actual

En cuanto a la evolución de las emisiones de este sector desde el año 1990, se aprecia estabilidad entre los años 1990 y 1993, una pauta de crecimiento durante 1994-2000, seguido hasta el año 2012 de un periodo de descenso, aunque con fluctuaciones. A partir de 2013 se observa un cambio de tendencia al alza, ligado al aumento en el uso de fertilizantes inorgánicos y al incremento de la cabaña ganadera.

En el marco europeo, las emisiones de este sector representan el 10% del total y a su vez presenta una tendencia alcista desde el 2012. Sin embargo, la tendencia ascendente de España es proporcionalmente más acusada que la de la UE.

FIGURA C.27 Evolución emisiones sector agrario en la UE y en España en el periodo 1990-2017

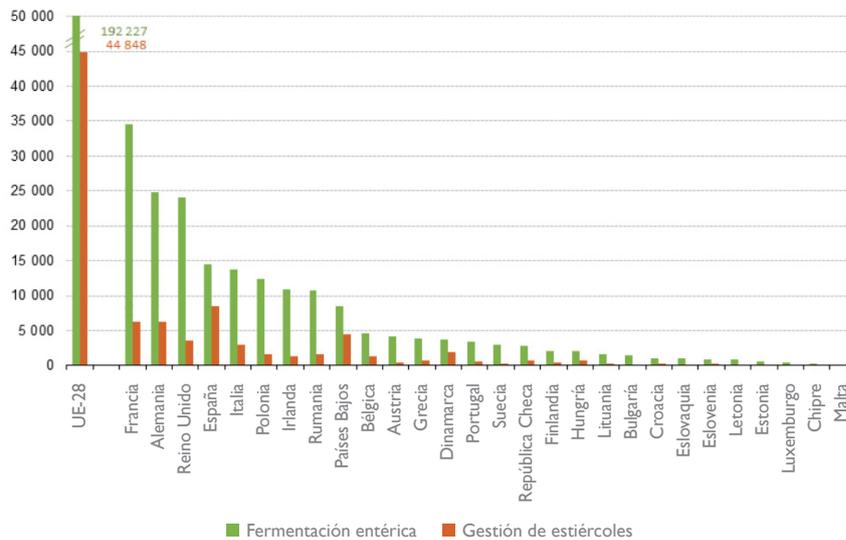


Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

En un análisis más detallado se observa cómo España se encuentra entre los Estados miembros que genera más emisiones provenientes de este sector, debido a la importancia económica que tiene en España (Figura C. 28 y Figura C. 29).

Sin embargo, España se encuentra muy por debajo de la media europea⁷³ en cuanto a emisiones por hectárea de Superficie Agrícola Utilizada (SAU) (Figura C. 30).

FIGURA C.28 Emisiones de CH₄ de fermentación entérica y gestión de estiércoles 2015 (ktCO₂eq)



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

⁷³ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Agri-environmental_indicator_-_greenhouse_gas_emissions#Total_emissions_from_the_EU_agricultural_sector

ANEXO C. DESCARBONIZACIÓN SECTORIAL

FIGURA C.29 Emisiones de N₂O de suelos agrícolas y gestión de estiércoles 2015 (ktCO₂eq)

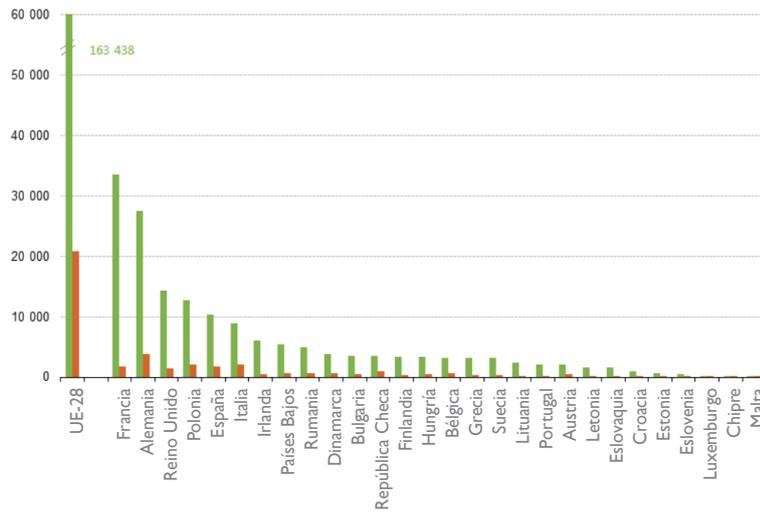
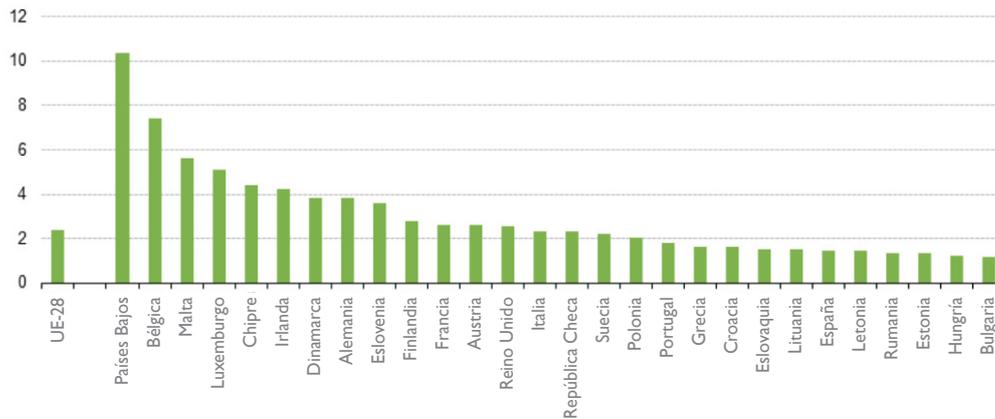


FIGURA C.30



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

En cuanto a las principales medidas llevadas a cabo, el sector agrario se encuentra regulado por la Política Agrícola Común (PAC), la cual ha ido evolucionando a lo largo de los años reforzando las consideraciones medioambientales, incluyendo la lucha contra el cambio climático. Para el periodo 2014-2020, la PAC incluye como uno de sus principales objetivos “**la gestión sostenible de los recursos naturales y la acción por el clima**”, con especial atención a las emisiones de gases de efecto invernadero, la biodiversidad, el suelo y el agua.

En la actualidad, se están negociando a nivel europeo los Reglamentos del próximo periodo de aplicación de la PAC (2021-2027), tomando como base las propuestas legislativas hechas por la Comisión Europea después de la presentación de la Comunicación sobre “*El futuro de los alimentos y la agricultura*”. En esta nueva reforma de la PAC se plantean los siguientes tres objetivos generales:

- a) El fomento de un sector agrario inteligente, resistente y diversificado que garantice la seguridad alimentaria.
- b) La intensificación del cuidado del medio ambiente y la acción por el clima, contribuyendo a alcanzar los objetivos climáticos y medioambientales de la UE.
- c) El fortalecimiento del tejido socioeconómico de las zonas rurales.

Además, entre los objetivos específicos de la propuesta de Reglamento sobre los Planes Estratégicos de la PAC, que deben elaborar todos los Estados miembros, se establece el de “*contribuir a la atenuación del cambio climático y a la adaptación a sus efectos, así como a la energía sostenible*”.

Adicionalmente, se insta a que los Estados miembros coordinen la elaboración de su Plan Estratégico Nacional de la PAC con el PNIEC 2021-2030, de manera que se asegure la plena coherencia entre ambos planes.

El fomento de un sector agrario inteligente, resistente y diversificado, la intensificación del cuidado del medio ambiente y la acción por el clima, y el fortalecimiento del tejido socioeconómico de las zonas rurales, forman parte de los objetivos de reforma de la PAC.

C.5.1.2 Horizonte 2030

El PNIEC 2021-2030 identifica una serie de medidas para la reducción de emisiones en este sector que hacen referencia, fundamentalmente, a la gestión de estiércoles en el sector ganadero y a la gestión de los suelos y el uso de fertilizantes en el agrícola, y se espera que se implementen tanto a través de la próxima PAC como a través del desarrollo de otras medidas regulatorias. En concreto las medidas identificadas hacen referencia a:

- ▶ **Fomento de las rotaciones en cultivos herbáceos de secano**, que incluyan leguminosa y oleaginosa y que sustituyan el monocultivo de cereal, con el fin de incrementar el contenido en nitrógeno de los suelos de forma natural sin recurrir a la fertilización nitrogenada.
- ▶ **Ajuste del aporte de nitrógeno a las necesidades del cultivo**, elaborando un plan de fertilización que tenga en cuenta esas necesidades, de tal manera que se utilicen fertilizantes orgánicos e inorgánicos en las dosis y momentos adecuados.
- ▶ **Actuaciones para la gestión de purines**: vaciado frecuente de purín en alojamientos de porcino; cubrimiento de balsas de purines; separación sólido-líquido de los mismos; fabricación de compost a partir de la fracción sólida.

Así, aplicando las medidas identificadas en el PNIEC, las emisiones (no energéticas) procedentes de la ganadería y los cultivos en **2030** supondrán **29,9 Millones de toneladas de CO₂eq.**

Adicionalmente, el PNIEC plantea otras medidas relacionadas con el sector agrario que son relevantes tanto desde el punto de vista de la fijación de CO₂ como desde el punto de vista de la adaptación al cambio climático. Entre otras medidas destacan la utilización de restos de poda de cultivos leñosos como biomasa (cuyas emisiones se contabilizan en el sector residuos), y actuaciones para fomentar el papel del sector agrícola como sumidero de carbono, a través del fomento de la agricultura de conservación, el mantenimiento de cubiertas vegetales y la incorporación de restos de poda al suelo en cultivos leñosos (actuaciones a las que se hace referencia en el apartado “3 Sumideros naturales” al hablar del “uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura” de esta Estrategia).

C.5.1.3 Horizonte 2050

Tal y como se destaca en la Comunicación de la Comisión Europea de noviembre de 2018 “*Un planeta limpio para todos: una visión estratégica a largo plazo de Europa para una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra*”, en un escenario de reducción de emisiones del 90% en 2050 respecto a 1990, **las emisiones que seguirán existiendo corresponderán en gran medida al sector agrario, por las particularidades del mismo y su menor potencial de reducción de emisiones frente a otros sectores.**

En ese sentido, en el horizonte 2050, en un **Escenario Tendencial**, las emisiones del sector se reducirían en un 22% en 2050 respecto a 2018.

La puesta en marcha de medidas adicionales para conseguir mayores reducciones en el sector agrario en 2050, está sujeta a la evolución de ciertas tecnologías y prácticas agrícolas y ganaderas, así como a la consideración de algunas hipótesis.

- ▶ Las prácticas ganaderas para la gestión de estiércoles (de ganado porcino y bovino fundamentalmente).
- ▶ La producción de biogás.
- ▶ Las prácticas agrícolas para la gestión de los cultivos y la conservación de los suelos.
- ▶ La digitalización y las tecnologías inteligentes para el desarrollo a mayor escala de la agricultura de precisión, optimizando la gestión de insumos y, en especial, la fertilización nitrogenada y el riego.
- ▶ Los avances en lo relacionado a la alimentación del ganado, tanto a través de la mejora animal encaminada a la obtención de razas con digestiones menos emisoras de metano, como al desarrollo de aditivos/complementos en la alimentación del ganado para que los animales mejoren la digestibilidad de los alimentos que ingieren y se reduzcan las emisiones de metano.
- ▶ Los avances en la utilización de fertilizantes nitrogenados recubiertos y con inhibidores de la nitrificación, para evitar pérdidas y maximizar la asimilación del nitrógeno aportado por los cultivos.

Las **hipótesis** que se consideran en este horizonte a 2050 para conseguir una reducción adicional de emisiones del sector son las siguientes:

- ▶ **El aumento de la superficie para el fomento de las rotaciones en cultivos herbáceos de secano**, que incluyan leguminosa y oleaginosa, y que sustituyan el monocultivo de cereal.
- ▶ **La optimización del aporte de nitrógeno** a las necesidades de cultivo al total de superficie fertilizable.
- ▶ **La gestión y aplicación de tratamientos de estiércoles y purines** que minimicen la generación de emisiones.
- ▶ **La reducción del desperdicio en la cadena alimentaria** de consumo nacional, lo cual permitiría satisfacer la demanda con menor producción e incidirá a la baja en las emisiones de los suelos agrícolas.
- ▶ **Fomento de la dieta mediterránea.**

La aplicación de estas medidas permitiría reducir las emisiones de este sector hasta aproximadamente **16 Millones de toneladas de CO₂eq en 2050.**

Dichas medidas están alineadas con la Comunicación de la Comisión Europea. En dicha Comunicación se apunta que el desarrollo e implementación de medidas de mitigación en el sector agrario para disminuir las principales fuentes de emisión como la fermentación entérica de los rumiantes, el manejo de los suelos agrícolas y la gestión de estiércoles, no son suficientes para alcanzar el Escenario de Neutralidad Climática. Por ello, propone iniciativas emergentes que pueden añadir más reducciones en el sector: **la aplicación de la economía circular al sector agrario**, incluyendo la producción sostenible de biomasa para su uso en la bioeconomía y en el sector energético, lo que podrá promover una reducción de emisiones directas e indirectas.

Dado que el sector en España es netamente exportador, **la evolución de las emisiones vendrá también condicionada por la variación de la demanda exterior**.

Por último, es importante destacar que este sector, además de ser emisor de GEI, tiene la particularidad de ejercer como **sumidero natural a través de la capacidad que tienen el suelo y los cultivos leñosos de fijar carbono**, por lo que, junto con el sector forestal, desempeñará un papel clave en conseguir una economía neutra en emisiones.

En este sentido, **se promoverán prácticas que fomenten la fijación de carbono en cultivos leñosos y en el suelo**, siendo conscientes además de los beneficios de estas prácticas para la adaptación al cambio climático y para la propia fertilidad del suelo. Las prácticas que permiten el aumento del carbono orgánico de los suelos son amplias, desde la incorporación de residuos vegetales y restos de poda al suelo, como el empleo de fertilizantes orgánicos junto con la modificación de las técnicas de laboreo que eviten la oxidación de este carbono.

El sector agrario, además de ser emisor de GEI, tiene la particularidad de ejercer como sumidero natural a través de la capacidad que tienen el suelo y los cultivos leñosos de fijar carbono, por lo que, junto con el sector forestal, desempeñará un papel clave en conseguir una economía neutra en emisiones.

C.5.1.4 Retos y oportunidades

El sector agrario en España tiene una gran importancia económica, social, territorial y medioambiental. La aplicación de las mejores prácticas y técnicas disponibles y la evolución de ciertas tecnologías permitirán que el sector sea cada vez menos emisor y mejore además su capacidad como sumidero de CO₂. También representan una oportunidad los nuevos ámbitos desde el enfoque de la bioeconomía, donde se desarrollarán nuevos nichos de negocio.

La puesta en marcha de las medidas identificadas deberá estar alineada con los próximos periodos de aplicación de la PAC y, a su vez, promover un desarrollo socioeconómico de las zonas rurales. Gran parte de estas medidas son además esenciales para las políticas de adaptación a los impactos del cambio climático en el propio sector y presentan numerosos cobeneficios medioambientales y sociales.

Entre los retos del sector agrario y agroalimentario para contribuir a la neutralidad climática de emisiones en 2050, siendo España netamente exportador, destaca la necesidad de tener en cuenta las nuevas tendencias y hábitos de los consumidores, que demandan alimentos de producción más sostenible y de menor huella ecológica.

Hay que mencionar a este respecto que España es, dentro del contexto europeo, el país que **mayor superficie destina a la producción de alimentos ecológicos**, muy compatible con las condiciones edafo-climáticas nacionales.

C.5.2 Gestión de residuos y aguas residuales

Las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de residuos se categorizan de acuerdo a las diferentes opciones de gestión a las que se someten los mismos:

- ▶ Depósito en vertedero.
- ▶ Tratamiento biológico (compostaje y digestión anaerobia).
- ▶ Tratamiento de aguas residuales (urbanas e industriales).

En España, el depósito de residuos sólidos en **vertederos** ha sido y continúa siendo el método mayoritario de gestión, por lo que esta categoría es la que contribuye mayoritariamente a las emisiones del sector (**más del 75%**). Hay que tener en cuenta que los residuos depositados se descomponen durante más de 30 años.

El **compostaje** es un proceso aerobio donde se tratan los residuos orgánicos en presencia de oxígeno, generando un producto estabilizado, el compost, de interés para los suelos. Este proceso genera pequeñas cantidades de metano y óxido nítrico (N_2O).

La **digestión anaerobia o biometanización** en la que los residuos son tratados en tanques cerrados, en ausencia de oxígeno. Se obtiene biogás que puede ser usado como combustible, y un digerido o digestato de consistencia fangosa. Este tratamiento genera menos emisiones y se facilita el aprovechamiento de las corrientes (biogás y digerido) obtenidas. En lo que respecta al digerido es importante tener en cuenta la normativa aplicable y la gestión asociada al mismo (acondicionamientos necesarios, transporte, demanda, etc).

El tratamiento de **aguas residuales** abarca tanto las domésticas como las industriales, siendo las primeras las que más contribuyen a las emisiones de N_2O de todo el capítulo de residuos. En las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) se incorpora la biometanización para el tratamiento de fangos. También se producen emisiones de poca entidad en actividades como la incineración sin recuperación de energía de residuos hospitalarios y lodos.

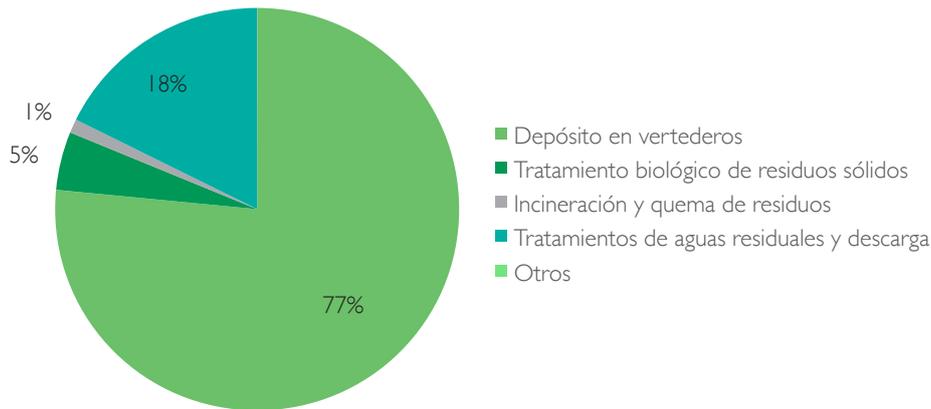
En España, el depósito de residuos sólidos en vertederos ha sido y continúa siendo el método mayoritario de gestión, por lo que esta categoría es la que contribuye mayoritariamente a las emisiones del sector (más del 75%). Hay que tener en cuenta que los residuos depositados se descomponen durante más de 30 años.

C.5.2.1 Situación actual

En el año 2018, las emisiones de este sector alcanzaron **13,4 Millones de toneladas de CO_2eq** , lo que supone **el 4% de las emisiones brutas totales** de acuerdo a la última edición del Inventario (NIR 2020).

En la siguiente figura puede apreciarse la distribución de las emisiones GEI entre las citadas categorías para el año 2018 de acuerdo a los datos del Inventario Nacional 2020.

FIGURA C.31 Distribución de emisiones del sector residuos según tratamientos, 2018



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

Por tipología de gases **destaca el metano (CH_4)**, que representa el 90% de las emisiones del sector; principalmente por el depósito en vertederos (77%) y, en menor medida, por el tratamiento de aguas residuales (11%). Por otro lado, el N_2O representa el 10% de las emisiones, principalmente por el tratamiento de aguas residuales.

En materia de gestión de residuos, las normas vigentes son la Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados y el Plan Estatal Marco de Residuos 2016-2022, que recogen los objetivos de la Directiva 2008/98/CE, *Directiva Marco de Residuos* (DMR), en el horizonte 2020. Actualmente se está trabajando en la transposición de las nuevas directivas que emanan del paquete de economía circular de la UE, y que establecen los objetivos para 2030 y 2035:

- ▶ La Directiva 851/2018 que modifica la Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE, y establece un **objetivo de reciclado a 2030 del 60% de los residuos municipales y del 65% en 2035**. También establece plazos para la recogida selectiva obligatoria de determinados flujos como los residuos orgánicos y los textiles, entre otros.
- ▶ La Directiva 850/2018 que modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido y establece un **objetivo de vertido para 2035 de menos del 10% del residuo generado**; además, se deberá avanzar, a partir de 2030, en que todos los residuos aptos para el reciclado u otro tipo de valorización, en particular los residuos municipales, no sean admitidos en vertederos.
- ▶ La Directiva 2018/852/CE relativa a envases y residuos de envase que establece **objetivos de reciclado para los envases a 2030, con carácter global, del 70%, y por materiales, de hasta el 85% en algún supuesto como es para el caso de los envases de de papel en el mismo periodo**.

Alcanzar estos objetivos es el camino para reducir las emisiones del sector. En la última década ha aumentado la contribución del reciclaje, los tratamientos biológicos y la incineración con aprovechamiento energético, en detrimento del vertido, pero **la situación está muy lejos de los objetivos propuestos por las citadas directivas para el horizonte 2030**.

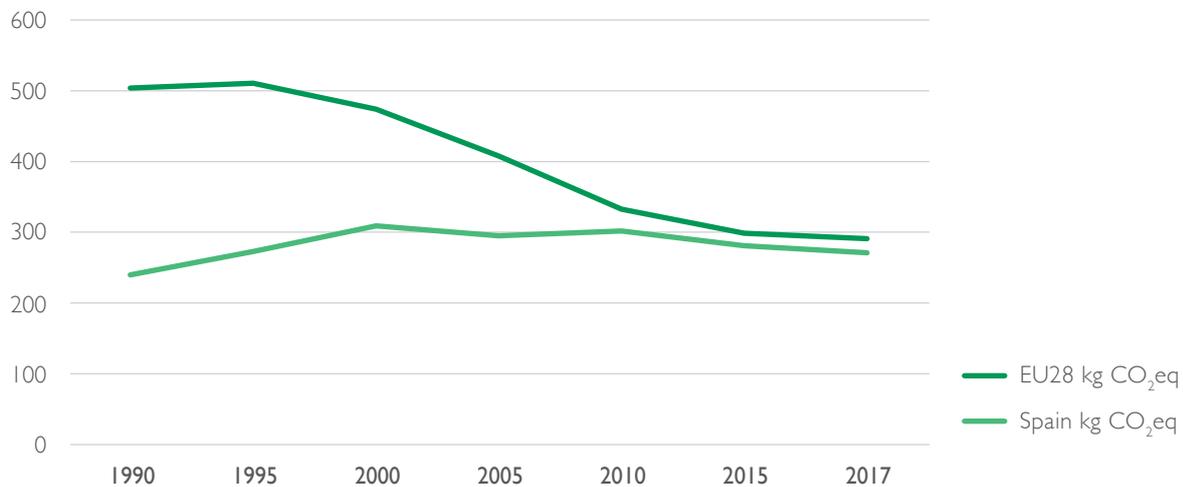
La incineración conlleva la quema de biomasa con otros productos de mayor contenido energético como los plásticos, con emisiones significativas de CO_2 fósil con un aprovechamiento energético bajo, en torno al 20%. Ante un futuro sistema de generación renovable, eficiente y sostenible, la tecnología de incineración con recuperación energética tiene muy poco que aportar ya que supone emisiones de GEI con un sobre coste de generación. **La separación y el reciclado se consideran las vías más sostenibles**, pudiendo quedar fracciones resto o rechazo para usos térmicos en industrias con altas necesidades energéticas y posibles sistemas de captura del CO_2 .

ANEXO C. DESCARBONIZACIÓN SECTORIAL

Analizando el sector desde **la perspectiva europea**, la generación total de residuos per cápita en España fue la mitad de la media europea EU28 (2,77 toneladas frente a 4,97), sin embargo, esta ratio se iguala para los residuos municipales. En cuanto al tratamiento, el porcentaje de vertidos en España fue del 53,64%, mientras que en la EU28 fue del 38,79%. El porcentaje de reciclaje en España fue del 37,09% frente a la media europea del 37,76%), si bien nos encontramos alejados de países del entorno como Bélgica, Italia, Alemania, Francia y Portugal, que vierten entre el 6,36 y el 34,66% y reciclan entre el 76,88 y el 42,72%.

Estas circunstancias han llevado a España a un incremento de las emisiones per cápita del sector: La evolución que se aprecia en la siguiente figura, muestra una tendencia a la baja desde el año 2011, aunque notablemente menos pronunciada que en la UE.

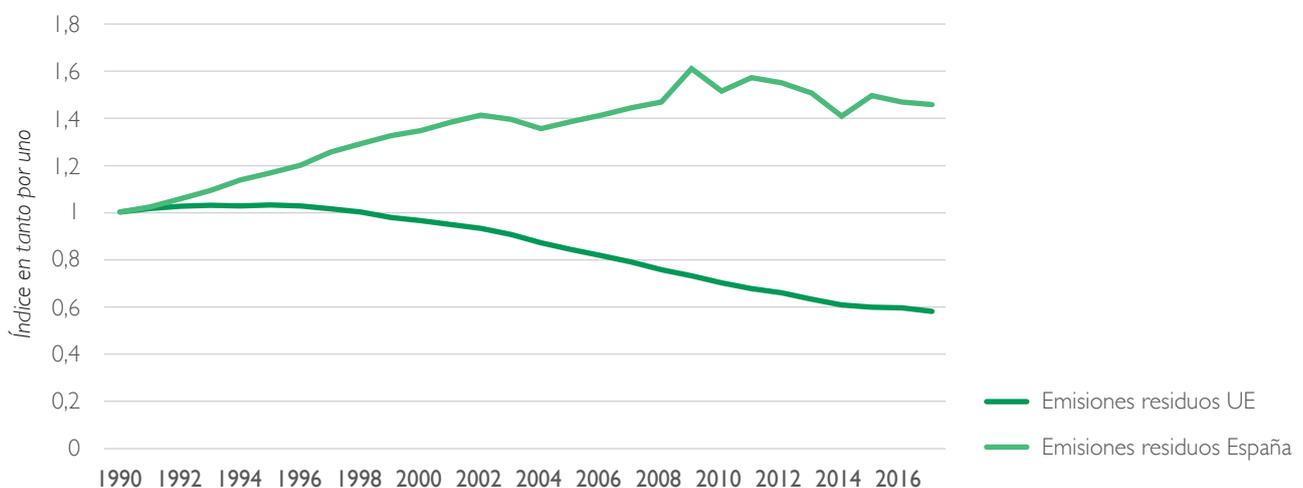
FIGURA C.32 Emisiones (Kg CO₂eq) per cápita en sector Residuos



Fuente: Eurostat

La evolución de las emisiones de España y la UE se puede apreciar en la siguiente gráfica:

FIGURA C.33 Evolución de las emisiones de la gestión de residuos en la UE y en España



Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente

C.5.2.2 Horizonte 2030

La reducción de emisiones prevista en el PNIEC, 2021-2030 para la gestión de los residuos deriva de la asunción de los objetivos de las directivas europeas en la materia, aprobadas recientemente y de los objetivos de desarrollo sostenible a 2030 para el desperdicio alimentario, asumiendo las siguientes hipótesis:

En 2030, el 60% de los residuos orgánicos se recogerá separadamente para su tratamiento biológico. En el caso del papel y el cartón usados, se espera alcanzar una recogida selectiva del 85%.

En materia de prevención/minimización, y para todo tipo de residuos, **se reducirá la generación un 15%** en peso respecto al año 2010. Parte de esta reducción corresponderá al desperdicio alimentario, que se reducirá a la mitad por cada uno de los miembros del hogar y el 20% en las cadenas de producción y suministro.

El conjunto de estas actuaciones llevará asociado la reducción de la cantidad de residuos depositada en los vertederos, de manera que **para 2030 se prevé que se vierta solo el 24% en peso, de todo el residuo generado.** También se actuará sobre las emisiones fugitivas de los vertederos sellados.

Así, las medidas planteadas de reducción de emisiones de GEI en la gestión de los residuos se centran en acciones encaminadas a dar un tratamiento bajo en emisiones a la fracción orgánica de los residuos:

- ▶ Compostaje doméstico o comunitario y recogida separada de biorresiduo con destino a compostaje o biometanización. Gestión del biogás para producir biometano que sustituya al gas natural de origen fósil.
- ▶ Reducción del desperdicio alimentario.
- ▶ Incremento de la recogida separada de papel, aceite de cocina doméstico usado y textiles.
- ▶ Sistemas para evitar el biogás fugado en vertederos sellados.
- ▶ Utilización de restos de poda de cultivos leñosos como biomasa.

Bajo estas condiciones, con las medidas que propone el PNIEC, en **2030** las emisiones de este sector alcanzarían aproximadamente **10 Millones de toneladas de CO₂eq.**

Las medidas planteadas de reducción de emisiones de GEI en la gestión de los residuos, se centran en acciones encaminadas a dar un tratamiento bajo en emisiones a la fracción orgánica de los residuos.

C.5.2.3 Horizonte 2050

Las tecnologías disponibles que en la actualidad están maduras o en fase avanzada de implantación son:

- ▶ **Compostaje:** Diferentes técnicas para el tratamiento aerobio de la materia orgánica, con distintos niveles de control (aireación forzada, sensores, filtros, etc.) y dimensionado. Esto le confiere una gran adaptabilidad a las condiciones de la población objetivo. Se obtiene compost de interés para los suelos.
- ▶ **Digestión anaerobia o biodigestión:** La materia orgánica se fermenta en tanques, donde se pueden controlar los sustratos de entrada y las condiciones de la biodigestión. Son instalaciones cada vez más controladas con sensores, donde se optimizan los tiempos de retención. Los sistemas de hidrólisis pueden mejorar la producción de metano y la obtención de un mejor digestato. Se obtiene biogás y en algunas instalaciones se incorpora el sistema de nitrificación-desnitrificación para rebajar el contenido en nitrógeno de los efluentes.

ANEXO C. DESCARBONIZACIÓN SECTORIAL

- ▶ **Captación de biogás:** Mejora de la captación del biogás generado en los vertederos para su uso o quema en antorcha.
- ▶ **Upgrading:** Depuración de biogás para eliminar componentes no deseados y concentrar el metano (biometano) para su uso vehicular o la inyección en la red gasista.
- ▶ **Cambio de comportamiento:** para la implantación de la separación en origen que hace posible el reciclaje de los materiales (papel, aceite de cocina, etc.) o lo facilita (materia orgánica). También para reducir la generación de residuos, aplicable al desperdicio alimentario tanto en el ámbito doméstico como en el sector industrial o la hostelería, y a otros flujos de materiales (papel, plásticos, etc.) que reducen el uso de residuos naturales.
- ▶ **Cubiertas oxidativas:** Cubiertas de material orgánico que consiguen oxidar el metano fugado de los vertederos. Son eficientes y con un coste asequible. Hay distintas tipologías.
- ▶ **Digitalización:** Control y apoyo de los procesos y mediciones inherentes a las diferentes gestiones (compostaje, digestión anaerobia, captación y uso del biogás, etc.). También para apoyo a la recogida selectiva mediante chips o identificación del generador.

Además de las tecnologías citadas, podrían entrar en escena actuaciones basadas en tecnologías que ahora se encuentran en fase de estudio o proyecto piloto.

- ▶ **Vertederos no anaerobios:** Aireación del frente de vertido de cara a reducir las emisiones mientras la celda activa está abierta.
- ▶ **Economía circular:** El cambio del actual modelo lineal es un reto que ya se ha abordado desde la UE. La implementación de las actuaciones conllevará un aumento del reciclado y las materias primas secundarias, pero también del diseño, modos de uso y capacidad de reparación en todos los sectores.

En el Escenario Tendencial se considera el estado actual de la tecnología y los objetivos de las nuevas directivas europeas en materia de residuos, implementadas a nivel nacional y proyectando hasta 2050. Este escenario sería una continuación del PNIEC y sus medidas. Esto implica que se mantienen las hipótesis planteadas en dicho Plan y se añaden las siguientes consideraciones:

- ▶ Se generará menos residuo, y solo irá a vertedero un 10% de los residuos municipales, limitado a los rechazos de los diferentes tratamientos. Además, el vertido tendrá cada vez un menor contenido de materia orgánica. En todo caso, los depositados en vertederos de años precedentes continúan descomponiéndose y generando biogás.
- ▶ El compostaje y la biometanización de materia orgánica, aunque en menor grado, también producen pequeñas emisiones de CH₄ y N₂O. Al generalizarse el compostaje y la biometanización en la medida en la que el residuo orgánico ya no se deposita en vertedero, se incrementarán las emisiones de estos procesos.

En el Escenario Tendencial se considera el estado actual de la tecnología y los objetivos de las nuevas directivas europeas en materia de residuos, implementadas a nivel nacional y proyectando hasta 2050.

En este escenario tendencial las emisiones de la gestión de los residuos se reducirían en 2050 un 62% respecto a los niveles de 2018.

El **Escenario de Neutralidad Climática**, además de las hipótesis del tendencial, contempla las siguientes reducciones:

- ▶ **Se estima que las emisiones de N₂O a 2050 se reducirán a la mitad como consecuencia de la reducción de la carga de nitrógeno vertida a los cauces procedentes de las EDAR.** Ello será consecuencia de la implementación de la futura normativa europea y nacional sobre calidad de las aguas que podría exigir límites de vertido más estrictos en el futuro a las EDAR. Además, la recuperación de metano en las aguas industriales permitiría reducir estas emisiones un 80% en 2050 respecto de los niveles actuales..
- ▶ **Dejarán de incinerarse residuos que se derivarían a un tratamiento más eficiente.** A esta hipótesis contribuirá la próxima normativa de plásticos sobre la que está trabajando actualmente la UE y que obligará a determinadas cuotas de material reciclado en los envases y otros productos. Ciertos combustibles derivados de residuos podrían ser utilizados en industrias que tengan captura de CO₂.
- ▶ Las emisiones correspondientes a la descomposición del residuo almacenado en el vertedero seguirán teniendo lugar. Se plantea la aplicación de tecnologías aún incipientes para actuar sobre dichas emisiones remanentes. Es el caso de la aplicación de **cubiertas oxidativas en la superficie de los vertederos**, que podría conllevar la oxidación del 60% de las emisiones de metano.
- ▶ Incremento en la **capacidad de captación de los vertederos** desde el año 2030 hasta alcanzar un 30% en 2040 y 2050.
- ▶ Seguir **reduciendo la cantidad total de residuos** generados a nivel nacional.

La aplicación de estas medidas adicionales permitiría reducir un **81% las emisiones de este sector en 2050 en relación al año 2015**.

Las actuaciones derivadas de la implementación de la **economía circular** supondrían un aumento del reciclado y las materias primas secundarias que se traducirían en una reducción de emisiones, si bien repercutirían en los sectores productores, no en el de la gestión de residuos.

Las actuaciones derivadas de la implementación de la economía circular supondrían un aumento del reciclado y las materias primas secundarias que se traducirían en una reducción de emisiones, si bien repercutirían en los sectores productores, no en el de la gestión de residuos.

C.5.2.4 Retos y oportunidades

Dar cumplimiento a los objetivos de gestión de residuos emanados de las directivas que entrarán próximamente en vigor e incrementar su ambición hasta 2050 para cumplir los compromisos de descarbonización son dos retos importantes.

- ▶ En la actualidad, existen las tecnologías para dar un tratamiento bajo en emisiones a los biorresiduos, como el compostaje, la biometanización o mixto. No obstante, ha de hacerse un gran **esfuerzo para que la recogida separada** de este tipo de residuos se implante tanto a nivel doméstico como industrial.
- ▶ Implica **dejar de llevar a vertedero una cantidad muy importante de residuos** que aún se gestionan por esta vía, para tratarlos en plantas de recuperación, reciclaje, compostaje y/o biometanización, que será necesario implementar o acondicionar. Esto precisa generalizar la separación en origen para la práctica totalidad de los residuos generados, como única vía para garantizar su reciclado.

- ▶ Además, es necesario reducir la cantidad de residuos en toda la cadena de valor (productores, distribuidores y hogares). Para ello hay que potenciar el cambio de hábitos a lo largo de la misma, sin olvidar la fase previa del diseño. Este reto es sinérgico con los planteados por la **economía circular**.
- ▶ Al potenciar la **biometanización**, además de biogás renovable, se obtendrán grandes cantidades de digerido que, si bien son interesantes de cara a su aplicación al suelo como enmienda, son muy voluminosos y será preciso planificar su gestión para no condicionar la viabilidad de la digestión anaerobia.
- ▶ La incorporación de **compost** o el **digestato** a los suelos de forma adecuada permite que éstos almacenen de forma permanente parte del carbono orgánico mejorando la calidad de los suelos.

Asimismo, presenta un reto importante impulsar los cambios de conducta de los ciudadanos en materia de la separación in situ de residuos y en particular de la fracción orgánica. Es necesario desplegar un notable esfuerzo de concienciación, así como movilizar a las autoridades locales para acelerar las políticas de recogida y gestión.

En todo caso, **representa una oportunidad** inmejorable para aportar enmiendas orgánicas a nuestros suelos y aumentar el contenido de carbono orgánico de los mismos, lo que los hará más resilientes a los impactos del cambio climático, contribuyendo así a la adaptación.

Un reto importante es impulsar los cambios de conducta de los ciudadanos en materia de la separación in situ de residuos, y en particular de la fracción orgánica. Es necesario desplegar un notable esfuerzo de concienciación, así como movilizar a las autoridades locales para acelerar las políticas de recogida y gestión.

C.5.3 Gases Fluorados

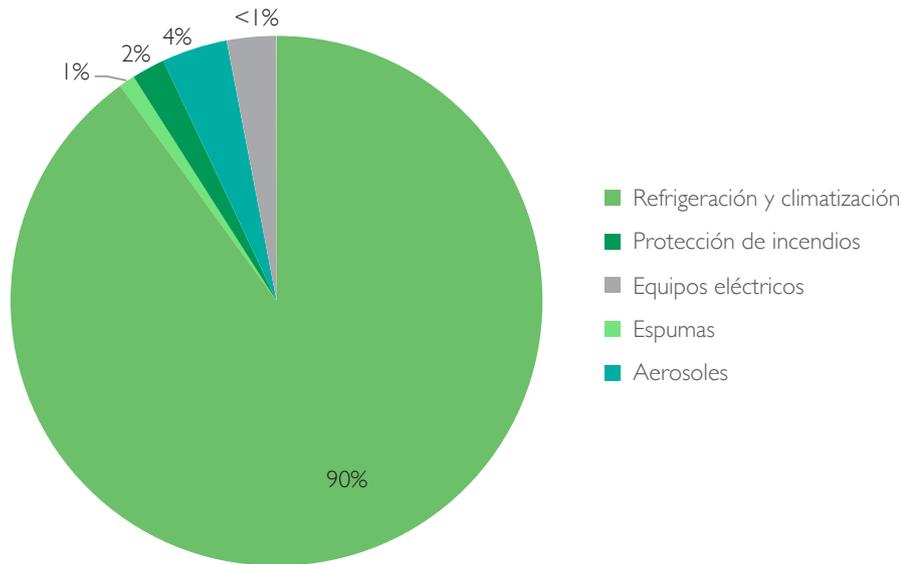
Las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero (HFCs, PFCs, SF₆, NF₃) se producen por las fugas de los equipos y las aplicaciones que los utilizan, principalmente en el sector de la refrigeración y climatización, los cuales representan aproximadamente el 90% de estas emisiones.

Otros sectores minoritarios donde se producen emisiones son: espumas de aislamiento, aerosoles técnicos y médicos, equipos de extinción de incendios y equipos eléctricos que utilizan SF₆. También pueden producirse emisiones derivadas de la producción de halocarburos, sobre todo de HFC 23 como subproducto.

En el año 2018, conforme al Inventario Nacional de Emisiones, las emisiones asociadas al uso de los gases fluorados de efecto invernadero fueron de **6,3 Millones toneladas de CO₂eq⁷⁴**. Representaron el **1,9% de las emisiones totales** de gases de efecto invernadero. En el siguiente gráfico se representa la distribución de las emisiones por categorías

⁷⁴ Este dato es la suma de las emisiones de sub sectores del Inventario Nacional de Emisiones: usos de productos como sustitutos para las sustancias que agotan la capa de ozono y uso de SF₆ en equipos eléctricos.

FIGURA C.34 Distribución de emisiones de gases fluorados por sectores, 2018



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

C.5.3.1 Situación actual

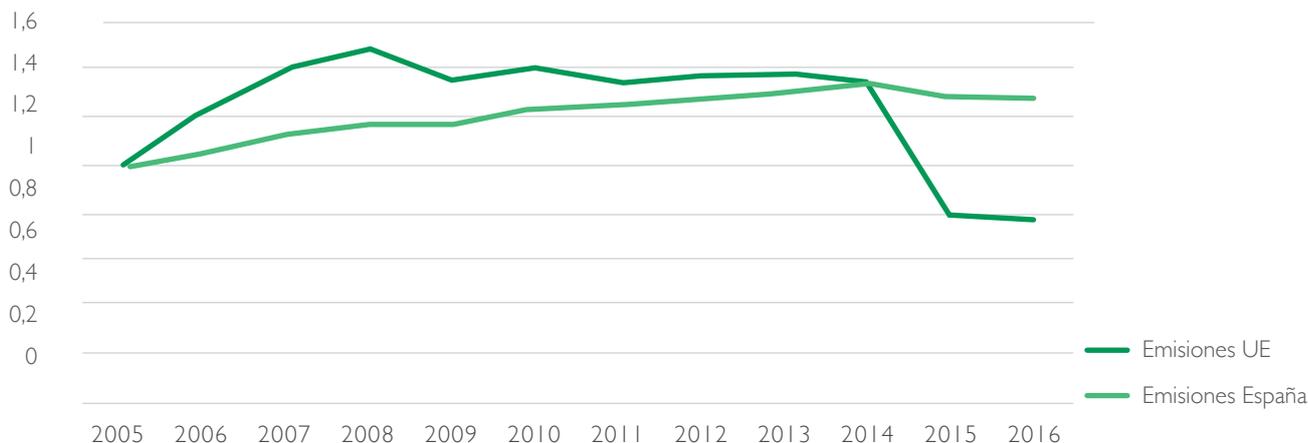
Desde 2014 hasta 2018 **se han reducido** las emisiones de estos gases fluorados en casi un **60%** conforme al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Ha sido consecuencia de la implementación de medidas tanto a nivel europeo (Reglamento UE nº 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, sobre los gases fluorados de efecto invernadero y Directiva 2006/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las emisiones procedentes de sistemas de aire acondicionado en vehículos de motor) como a nivel nacional (artículo 5 de la Ley 16/2013, de 29 de octubre, por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras, en el que se aprueba Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero).

También hay que mencionar que hace 15 años existían en España 3 plantas destinadas a la fabricación de gases fluorados en cuyo proceso de producción emitían HFC 23 (HFC con un potencial de calentamiento atmosférico (PCA) 14.800 veces superior al CO₂) y en 2014 cerró la última de ellas.

Conforme a datos agregados de la Agencia Europea de Medio Ambiente, a nivel europeo las emisiones de gases fluorados en 2018 fueron de 88 Millones de toneladas CO₂eq, que representan el 2,2% de las emisiones totales. En la última década la tendencia en la UE ha sido un crecimiento ralentizado de sus emisiones como consecuencia de la implementación de la normativa comunitaria. Esta evolución contrasta con la situación de **España donde, a consecuencia sobre todo del impuesto nacional a dichos gases, se ha adelantado la transición hacia gases alternativos de bajo potencial de calentamiento.**

En el siguiente gráfico se presenta la evolución de las emisiones desde 2005, tanto a nivel europeo como nacional, y en el que se puede visualizar el cambio de tendencia registrado en España a partir de 2014. España se ha convertido de hecho en **referente mundial en materia de mitigación de emisiones de gases fluorados** de efecto invernadero, lo que se ha puesto de relieve en distintos foros internacionales como la Convención de Naciones Unidas frente al Cambio Climático y la OCDE.

FIGURA C.35 Evolución porcentual emisiones gases fluorados en la UE y en España (Índice en tanto por uno)



Fuente: MITECO a partir de datos del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, 2017, y de la Agencia Europea de Medio Ambiente

C.5.3.2 Horizonte 2030

En el horizonte 2030 el PNIEC ha establecido diversas acciones para la reducción de emisiones en el sector:

- ▶ Sustitución de instalaciones que utilizan gases fluorados de alto potencial de calentamiento atmosférico (PCA) por otras que utilizan gases de bajo o nulo PCA.
- ▶ Reducción de emisiones de HFC mediante actuaciones en las instalaciones que los utilizan.
- ▶ Recuperación y gestión de los gases fluorados al final de la vida útil de los equipos.
- ▶ Fomento del uso de refrigerantes ligeramente inflamables de bajo potencial de calentamiento.

Estas medidas se alinean con los reglamentos europeos de reducción de gases permitiendo alcanzar al menos las cifras de mitigación del *phase down* planificado.

Por otro lado, se prevé un aumento a 2030 de las opciones de climatización basadas en bomba de calor para frío y calor lo que aumentará la demanda de gases de este tipo.

El PNIEC estima unas emisiones **de 4 Millones de toneladas de CO₂eq en 2030.**

Tecnologías disponibles y vías de descarbonización

En la actualidad, **existen tecnologías alternativas a los gases fluorados en la mayoría de aplicaciones**, concretamente en refrigeración comercial e industrial, climatización de vehículos, extinción de incendios, aerosoles técnicos y espumas de aislamiento.

En los sectores más importantes en cuanto al uso de gases fluorados, la refrigeración comercial e industrial y los sistemas de climatización de vehículos, existen alternativas maduras de bajo o nulo potencial de calentamiento atmosférico basadas bien en el uso de los llamados **refrigerantes naturales** (CO₂, Hidrocarburos o NH₃), bien en **gases fluorados de bajo potencial de calentamiento** como son las Hidrofluorolefinas (HFOs).

- ▶ En la refrigeración comercial se está imponiendo el uso de CO₂, ya sea como único refrigerante o bien en sistemas mixtos combinado con refrigerantes fluorados de bajo PCA.

- ▶ En la refrigeración industrial se están implementando sistemas con NH_3 .
- ▶ En la actualidad todos los sistemas de aire acondicionado de turismos y furgonetas nuevos utilizan el refrigerante R1234 (un HFO con un PCA de 4).
- ▶ En otros sectores más minoritarios existen otras tecnologías alternativas: en el de espumas utilizan HFOs como agentes espumantes; en la extinción de incendios existen mezclas de gases basados en la química del flúor de bajo PCA; y en los aerosoles técnicos se están utilizando otros gases como precursor del aerosol, por ejemplo, CO_2 .

A futuro se seguirá investigando en el resto de sectores en los que todavía no existen alternativas: la climatización doméstica con los hidrocarburos como alternativa más previsible; los equipos eléctricos con SF_6 , en los que se está trabajando con mezclas de gases fluorados con PCA significativamente más bajos que el SF_6 ; los aerosoles médicos, donde todavía existen barreras de tipo normativo, y finalmente el transporte refrigerado en el que se podrán implementar alternativas similares a las implementadas en la refrigeración comercial e industrial.

C.5.3.3 Escenario 2050

Conforme a un escenario tendencial, las emisiones de gases fluorados se reducirían un 71% a **2050** respecto a los niveles actuales (2018). Este escenario resulta de las emisiones de aquellos sectores donde todavía no se dispone de alternativas maduras, esto es: transporte refrigerado, climatización de edificios, aerosoles médicos y equipos eléctricos.

En el resto de sectores más importantes en cuanto al uso de gases fluorados, como la refrigeración comercial e industrial y los sistemas de climatización de vehículos, ya existen actualmente alternativas maduras de bajo o nulo potencial de calentamiento atmosférico, descritas al inicio de este punto.

El escenario con medidas adicionales (Escenario de Neutralidad Climática) contempla la implementación de alternativas maduras en todos los sectores, de forma que en 2050 solo se producirán emisiones derivadas de aquellas aplicaciones con periodos de vida útil largos, o bien en los que las tecnologías alternativas hayan penetrado más tarde. Actualmente los estándares de seguridad internacionales imponen ciertas restricciones que suponen una barrera al uso de ciertos refrigerantes alternativos como los Hidrocarburos. Se espera que, según avance el tiempo, se fijen condiciones de seguridad adecuadas al riesgo que suponen y se permitirá el uso de estos gases alternativos.

También se habrá reforzado la implementación del sistema de cuotas del citado Reglamento (UE) n° 517/2014, sobre los gases fluorados de efecto invernadero (este Reglamento tiene prevista su revisión en 2022). Concretamente, se estima que permanecerán únicamente las emisiones debidas a la climatización doméstica, las espumas de aislamiento y los equipos eléctricos, suponiendo un total de **0,5 Millones de toneladas de CO_2eq , lo que supone una reducción del 80% respecto a los niveles actuales (2018)**.

Se prevé un aumento notable de los dispositivos basados en bomba de calor para la producción de calor y frío tanto a nivel industrial como doméstico.

En los sectores de la climatización doméstica y los equipos eléctricos, en 2050 existirían bancos⁷⁵ de gases fluorados donde se producirían emisiones fugitivas debido a que la penetración de las posibles alternativas de bajo o nulo potencial se prevé para después de 2030 y tienen periodos de vida útil superiores a los 20 años. Así, en el caso de los equipos de climatización doméstica (con una vida media de 15 años), la alternativa previsible serán los hidrocarburos. Ahora bien, dado el parque tan elevado de estos equipos (aproximadamente 10 millones), en 2050 todavía existirá una cantidad significativa que seguirán utilizando refrigerantes fluorados.

⁷⁵ Este dato es la suma de las emisiones de sub sectores del Inventario Nacional de Emisiones: usos de productos como sustitutos para las sustancias que agotan la capa de ozono y uso de SF_6 en equipos eléctricos.

ANEXO C. DESCARBONIZACIÓN SECTORIAL

Por su parte, en los equipos eléctricos la alternativa previsible es la mezcla de gases fluorados con PCA entre 10-20 veces inferior al SF₆. Son equipos con una vida media entre 25 y 30 años, por lo que igualmente habrá un número relevante que siga utilizando SF₆ en 2050.

Un caso particular son las espumas de aislamiento, donde ya existen alternativas, como las basadas en HFOs, pero dado su vida útil tan larga (superior a 50 años) seguirán existiendo emisiones tanto fugitivas como asociadas a su fin de vida, por la imposibilidad técnica de recuperar los gases espumantes de la mayoría de espumas de aislamiento, sobre todo aquellas utilizadas en el aislamiento de edificios.

Seguridad Industrial, formación de profesionales, digitalización de los sistemas de refrigeración y climatización, eliminación del uso y tráfico ilícito de gases fluorados y mejora de su gestión, constituyen retos a solventar en los próximos años.

C.5.3.4 Retos y oportunidades

Los principales retos que tienen que solventarse en los próximos años son los siguientes:

- ▶ Revisión de los estándares internacionales en materia de seguridad industrial en el sector de la refrigeración y la climatización, particularmente en el sector de la climatización doméstica donde persisten barreras relacionadas con estos estándares para la penetración de tecnologías alternativas a los gases fluorados.
- ▶ Mejora de la formación de los profesionales en tecnologías alternativas a los gases fluorados ya que existe déficit de técnicos con conocimiento para manejarlas, particularmente en tecnología de CO₂.
- ▶ Digitalización de los sistemas de refrigeración y climatización. Al igual que otros sectores el manejo de toda la información generada por los sistemas de refrigeración y climatización y su digitalización va a ser importante para mejorar el rendimiento y la eficiencia de estos sistemas.
- ▶ Eliminar el uso y el tráfico ilícito de gases fluorados no permitidos.
- ▶ Mejorar la gestión de estos gases fluorados una vez que los equipos que los utilizan llegan a su fin de vida.

Las principales oportunidades son las siguientes:

- ▶ El uso de gases permite el desarrollo de tecnologías que permiten electrificar la generación no solo de frío sino de calor de baja y media temperatura.
- ▶ En el sector de refrigeración y de la climatización, el más importante en cuanto al uso de estos gases fluorados, se ha de aprovechar el cambio tecnológico hacia sistemas que utilicen gases con bajo potencial de calentamiento atmosférico y buscar sinergias para mejorar su eficiencia energética, reduciendo con ello sus emisiones indirectas de gases de efecto invernadero. Un ejemplo lo representa los cambios producidos en los supermercados en donde junto con el cambio a refrigerantes de bajo potencial de calentamiento de la central frigorífica se ha aprovechado para cerrar los muebles frigoríficos mejorando notablemente su eficiencia energética.
- ▶ Igualmente, el cambio tecnológico de la refrigeración asociada con la cadena de frío de la distribución de alimentos, encontrará sinergias con otras políticas como la reducción del desperdicio alimentario.
- ▶ El fomento de tecnologías alternativas a los gases fluorados puede generar empleo y crecimiento económico. A este respecto, conforme a datos del sector la refrigeración en España ha pasado de un crecimiento del 7% al 15% en los últimos 3 años.
- ▶ Buscar sinergias con la rehabilitación residencial y el aislamiento térmico de los edificios.

ANEXO D

ANÁLISIS DE IMPACTO
ECONÓMICO, EMPLEO
Y SOBRE LA SALUD

D.1 INTRODUCCIÓN

El 28 de noviembre de 2018, la Comisión Europea presentó el documento “A Clean Planet for all”⁷⁶, que establece una visión estratégica para alcanzar una reducción conjunta de las emisiones de GEI en la UE-28 en el largo plazo. En el marco europeo de la elaboración de las Estrategias a largo plazo, existe el compromiso de incorporar, según el anexo IV del Reglamento de Gobernanza⁷⁷, una evaluación de impacto de los distintos aspectos socioeconómicos. El objetivo de este capítulo es, por tanto, analizar el impacto económico, sobre el empleo y la salud de la Estrategia española para alcanzar una economía libre de emisiones netas en 2050.

El mencionado documento europeo está acompañado de un análisis⁷⁸ exhaustivo en el que se incorpora una evaluación detallada de los impactos económicos asociados a los diferentes escenarios y grados de ambición en la reducción de emisiones. De los ocho escenarios presentados, solamente en dos de ellos se alcanza la neutralidad climática en 2050 (escenarios I.5TECH y I.5LIFE). Según ese estudio, los impactos económicos en términos de PIB, analizados mediante el modelo E3ME⁷⁹, se sitúan entre un +1,5% y un +2,1% en 2050 con respecto al escenario tendencial. El impacto más positivo se da precisamente en los escenarios en los que se alcanza la neutralidad climática en 2050 y son compatibles con el objetivo del 1,5°C.

Los resultados obtenidos por la Comisión Europea son similares a los obtenidos en otro estudio reciente de la OCDE⁸⁰ (2017). Según este trabajo, las políticas de mitigación para alcanzar un escenario de neutralidad climática tendrán un impacto positivo para los países avanzados del G20 (que son importadores netos de combustibles fósiles) y lo sitúa en un aumento medio del PIB en torno al 2,2% en 2050.

Todos los estudios coinciden en destacar la importante oportunidad económica que supone la descarbonización, especialmente para las regiones económicamente dependientes de los combustibles fósiles.

Por su parte, IRENA (2019) en su reciente informe⁸¹ “Transforming the energy system” sitúa los impactos medios en el PIB para los países del G20 en torno al 2,5%, pero muestra unos resultados mucho más positivos para la UE, que crecería un 7,5% de forma adicional en 2050 gracias a las políticas de mitigación para alcanzar el Acuerdo de París. Además, dentro de la UE se hace especial mención a los países del sur de Europa que serían los más beneficiados por las políticas de mitigación, y para los que proyecta un aumento del 9,4% respecto al escenario tendencial en 2050. Los impactos obtenidos por IRENA son más positivos que los obtenidos por la Comisión Europea, en parte, porque muestran los resultados acumulados en el periodo 2019-2050, mientras que la Comisión Europea se centra en los impactos en el periodo 2031-2050.

⁷⁶ COM (2018) 773 final.

⁷⁷ Reglamento (UE) 2018/1999 del 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima.

⁷⁸ https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf

⁷⁹ El estudio de la Comisión Europea también presenta los resultados de tres modelos, dos de ellos dan impactos positivos. Sin embargo, los resultados con el modelo GEM-E3 muestra impactos pequeños pero negativos, que se sitúan en el -0,2% y -1,3%, para el escenario de 2°C y 1,5°C, respectivamente. No obstante, el informe señala que el modelo es restrictivo ya que parte de una economía en equilibrio, sin ningún tipo de recurso inutilizado en la situación inicial y, por lo tanto, toda desviación de este equilibrio genera lógicamente una pérdida de eficiencia pues los factores productivos se destinan a otros usos alternativos en teoría menos productivos. Esta hipótesis contrasta, al menos, con la realidad de la economía española con elevadas tasas de paro y recursos financieros ociosos.

⁸⁰ <https://www.oecd.org/env/investing-in-climate-investing-in-growth-9789264273528-en.htm>

⁸¹ <https://www.irena.org/publications/2019/Sep/Transforming-the-energy-system>

Establecer una comparativa entre los diversos estudios mencionados es complejo ya que los resultados son fruto de distintos escenarios, políticas e hipótesis. Además, la elevada incertidumbre inherente a cualquier tipo de escenario a largo plazo necesita de análisis de sensibilidad y de una constante actualización de los resultados por medio de las futuras revisiones de la Estrategia. No obstante, todos ellos coinciden en destacar la importante oportunidad económica que supone la descarbonización, especialmente para las regiones económicamente dependientes de los combustibles fósiles.

Este capítulo se estructura como sigue. En primer lugar, se explican los escenarios considerados y se realiza una breve descripción de las metodologías utilizadas para el análisis. Posteriormente, se presenta la estimación de las inversiones asociadas a los diferentes escenarios, así como los impactos derivados del cambio energético, con las consiguientes consecuencias positivas en el PIB, el empleo y sobre la salud. Finalmente, se presenta un análisis de sensibilidad y las conclusiones.

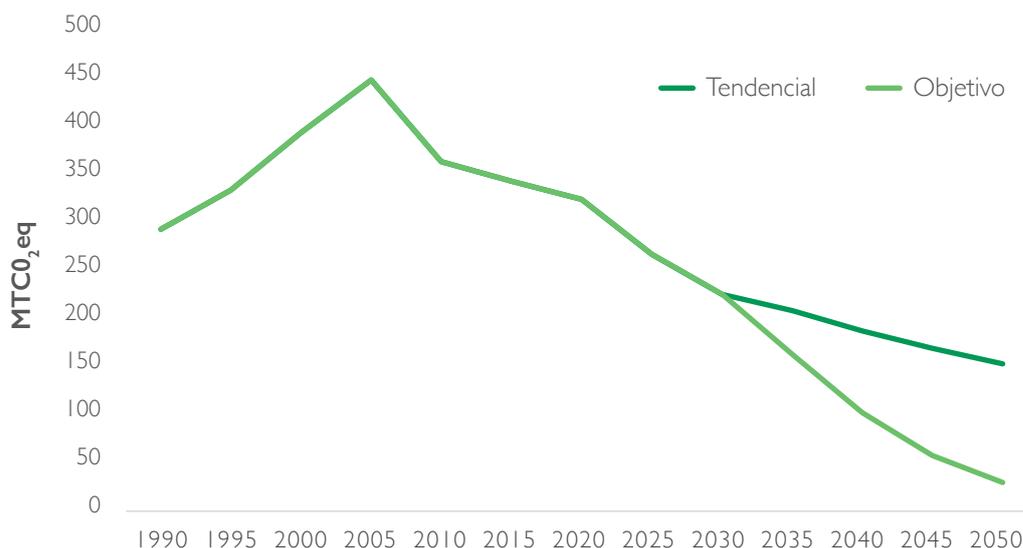
D.2 ESCENARIOS ANALIZADOS

El estudio de impacto económico se ha realizado mediante la comparación entre un Escenario Tendencial (sin políticas adicionales a partir de 2030) y un Escenario Objetivo (el Escenario de Neutralidad Climática), que recoge los cambios tecnológicos y de comportamiento que serán necesarios para alcanzar la neutralidad climática en 2050.

Siguiendo la misma filosofía de trabajo utilizada por la Comisión Europea en su hoja de ruta, el Escenario Tendencial de la ELP coincide hasta 2030 con el escenario objetivo del PNIEC. Es decir, en la presente Estrategia en el año 2030, tanto el Escenario Tendencial como el Objetivo, parten del cumplimiento del PNIEC.

Por lo tanto, lo que se evalúa en este capítulo es el efecto adicional de las políticas necesarias para descarbonizar la economía en el periodo 2031-2050⁸². Tal y como muestra la Figura D. 1, la evolución de las emisiones brutas de GEI en el Tendencial seguiría una senda decreciente pero insuficiente para alcanzar la neutralidad climática en 2050. El Escenario de Neutralidad Climática consigue una reducción de las emisiones superior al 90% con respecto a los niveles de 1990.

FIGURA D.1 Evolución de las emisiones brutas totales de GEI, 1990-2050



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

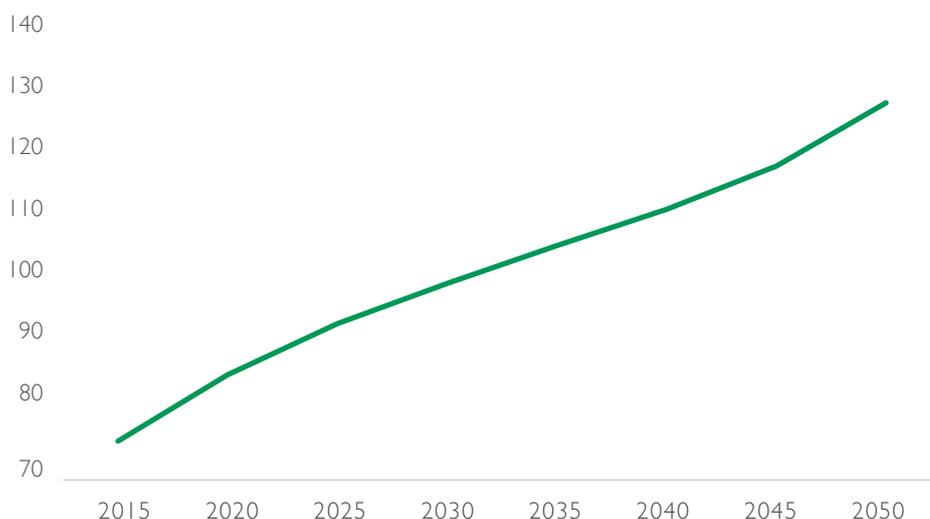
⁸² Esta aproximación implica subestimar los impactos económicos en el periodo 2031-2050 ya que los efectos positivos en el PIB y empleo obtenidos en el PNIEC hasta 2030 quedarían integrados en el escenario tendencial. En el caso de los impactos asociados a las inversiones del PNIEC, estos no continuarían en periodo 2031-2050 ya que finalizan cuando las inversiones terminan de ejecutarse, no obstante, los impactos derivados del ahorro y del cambio del mix energético se mantendrían después de 2030.

ANEXO D. ANÁLISIS DE IMPACTO ECONÓMICO, EMPLEO Y SOBRE LA SALUD

El impacto económico de la Estrategia depende del Escenario (económico) Tendencial asumido en este estudio. Dicho escenario ha sido calibrado con la senda de crecimiento del PIB utilizada por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital (MINECO), y es el que también ha sido utilizado por el modelo TIMES-Sinergia de MITECO para realizar la modelización energética.

Según las proyecciones de MINECO, el PIB sigue creciendo de forma continua en el período analizado (+28% entre 2031 y 2050), tal y como puede observarse en la Figura D. 2. En esos años, se prevé asimismo un descenso de la población activa (-10%), lo que implica un aumento notable de la productividad. Respecto a los precios energéticos y del CO₂ se han utilizado los recomendados por la Comisión Europea.

FIGURA D.2 Evolución prevista del PIB 2015-2050 (2030=100)



Fuente: MINECO

Alcanzar la neutralidad de las emisiones de GEI en 2050, al tiempo que se proyecta la senda de crecimiento económico arriba mostrada, implica un cambio sustancial en todos los sectores productivos, así como en los patrones de movilidad y de consumo. Esto conlleva una importante reducción en el consumo de energía, especialmente de combustibles fósiles, que redundará en una disminución muy significativa de las importaciones de petróleo y gas.

En la Figura D. 3 se muestra la reducción y transformación del consumo final de energía en distintos horizontes temporales. Asumiendo el cumplimiento íntegro de los objetivos del PNIEC, en el periodo 2017-2030, el consumo final de energía se reduciría de 89 Mtep a 79 Mtep. Entre 2031 y 2050, el **consumo final de energía** se reduciría a 69 Mtep en 2050 en el Escenario Tendencial y a **60 Mtep en el Escenario de Neutralidad Climática**.

Por otro lado, el **porcentaje de renovables en el consumo final** aumentaría del 17% en 2017 al 42% en 2030, y en 2050 pasaría a representar el 64% de la demanda final en el Escenario Tendencial y el **97% en el Escenario de Neutralidad Climática**. Tal y como se puede observar, en el periodo 2031-2050 el ahorro y la eficiencia energética mostrarían un mayor aprovechamiento en todos los sectores, al mismo tiempo que las energías renovables aumentarían su participación en el consumo final de energía⁸³.

⁸³ En el capítulo 2 de este documento se muestra información más detallada sobre consumos energéticos.

FIGURA D.3 Evolución del consumo final de energía y mix energético a 2050



Fuente: *TIMES-Sinergia (MITECO) y BC3*

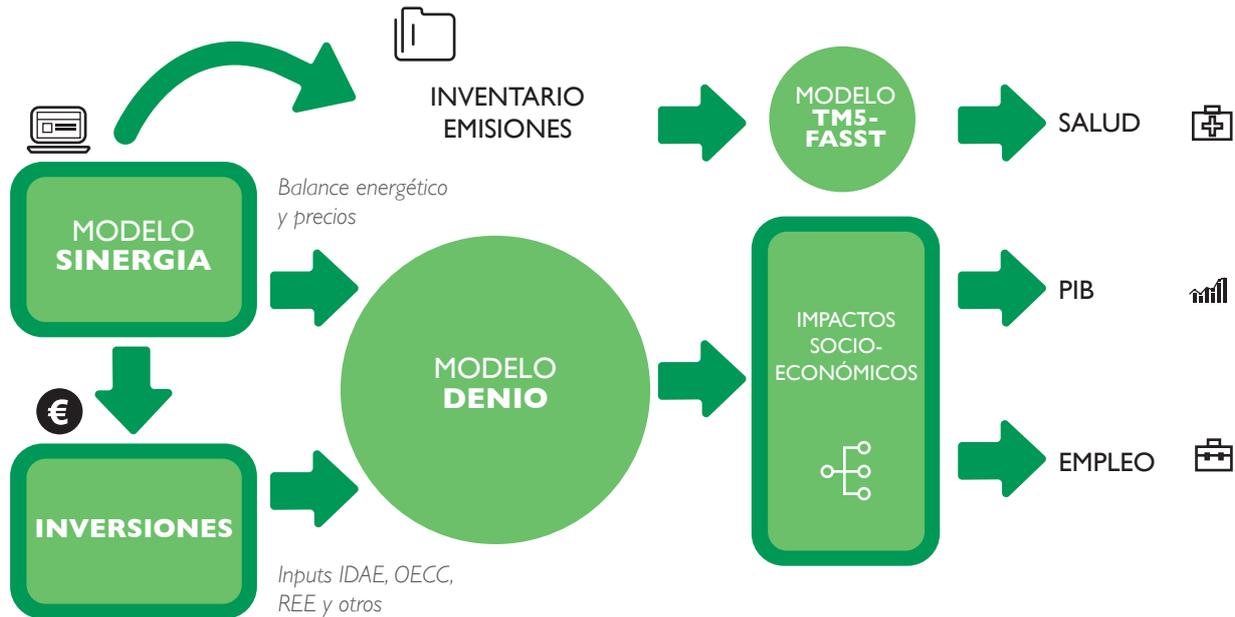
D.3 METODOLOGÍA

La evaluación de impacto de los distintos aspectos socioeconómicos requiere el uso de modelos y herramientas que permitan analizar las relaciones entre distintas áreas. El análisis de impacto que se ha realizado en este estudio es integrado (establece las relaciones entre energía y economía de forma consistente), multisectorial (incluye todos los sectores económicos) y multidimensional (incluyendo otras dimensiones como los efectos sobre la salud).

La Figura D. 4 recoge un esquema de la metodología utilizada. Como se muestra en la figura, el proceso ha utilizado la información de salida o “*outputs*” del modelo TIMES-Sinergia de MITECO, en concreto los balances energéticos y los precios de la energía, se han utilizado como “*inputs*” o información de entrada en el modelo económico DENIO. Junto con esta información también se ha incluido como “*input*” el flujo de inversiones por sector y los costes adicionales de mitigación de los sectores de difícil descarbonización. Ese conjunto de información ha permitido estimar los impactos económicos a través del modelo DENIO.

Por otro lado, la Unidad de Inventarios de MITECO ha incorporado los datos del balance energético del modelo TIMES-Sinergia para estimar la emisión de contaminantes atmosféricos asociada a cada uno de los escenarios. Esta información es la que se ha utilizado en el modelo TM5-FASST para estimar los cobeneficios para la salud.

FIGURA D.4 Metodología. Inputs y outputs de los modelos DENIO y TM5-FASST



Fuente: Basque Centre for Climate Change

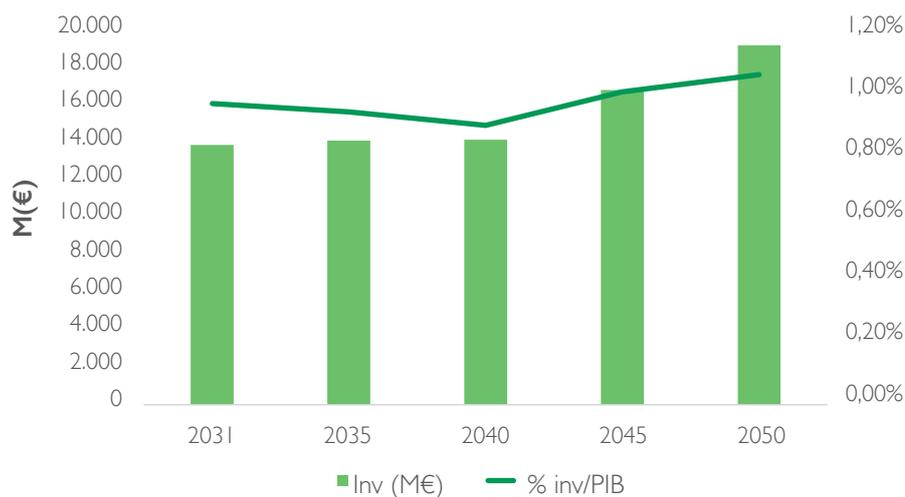
D.4 INVERSIONES

Esta sección recoge las inversiones necesarias para alcanzar la neutralidad climática en 2050. Los datos sobre inversiones abarcan los relativos a la transformación del sector eléctrico, las del sector residencial, servicios, transporte e industria, así como las inversiones necesarias en redes de transporte, distribución e interconexiones eléctricas. También se incluyen las de agricultura y las del resto de sectores difusos no energéticos, así como las asociadas al cambio tecnológico, necesarias para conseguir los niveles de producción de hidrógeno, combustibles sintéticos y de captura de carbono en 2050.

Alcanzar la neutralidad climática necesitará inversiones adicionales en todos los sectores. Se estima que las inversiones totales⁸⁴ acumuladas en el período 2031-2050 alcanzarán los 500.000 millones, de los cuales 300.000 se consideran adicionales como consecuencia de la implementación de esta Estrategia. Las inversiones adicionales anuales se sitúan en torno a un 1% del PIB, en línea con las cifras presentadas por la Estrategia a Largo Plazo Europea 2050.

⁸⁴ Las inversiones totales, al igual que realiza el estudio de la Estrategia a Largo Plazo Europea 2050, no incluye las inversiones ordinarias en transporte privado.

FIGURA D.5 Evolución de las inversiones adicionales del Escenario de Neutralidad Climática respecto al Tendencial entre 2031-2050 y % del PIB



Fuente: BC3, con datos de TIMES-Sinergia (MITECO)

D.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIOECONÓMICO

D.5.1 Impacto en el sistema energético

En primer lugar, el desacoplamiento entre el crecimiento económico y las emisiones de GEI y el consumo de energía, supone un aumento de la “productividad” de la energía consumida, a medida que el ahorro y la eficiencia energética se extienden a todos los sectores. Tal y como recoge la Figura D. 6, en el Escenario de Neutralidad Climática **el PIB producido por unidad de consumo final de energía aumenta entre 2017 y 2050 por un factor de 2,5**, en línea con los resultados de la Comisión Europea⁸⁵.

FIGURA D.6 PIB producido (M€2016) por unidad de consumo final de energía (Mtep)



Fuente: BC3, con datos de TIMES-Sinergia (MITECO)

⁸⁵ Según el documento COM (2018) 773 (fig. 93, pg. 200), el PIB por consumo energético final aumenta en toda la UE entre 2015 y 2050 por un factor de entre 2 y 3, dependiendo de los escenarios utilizados.

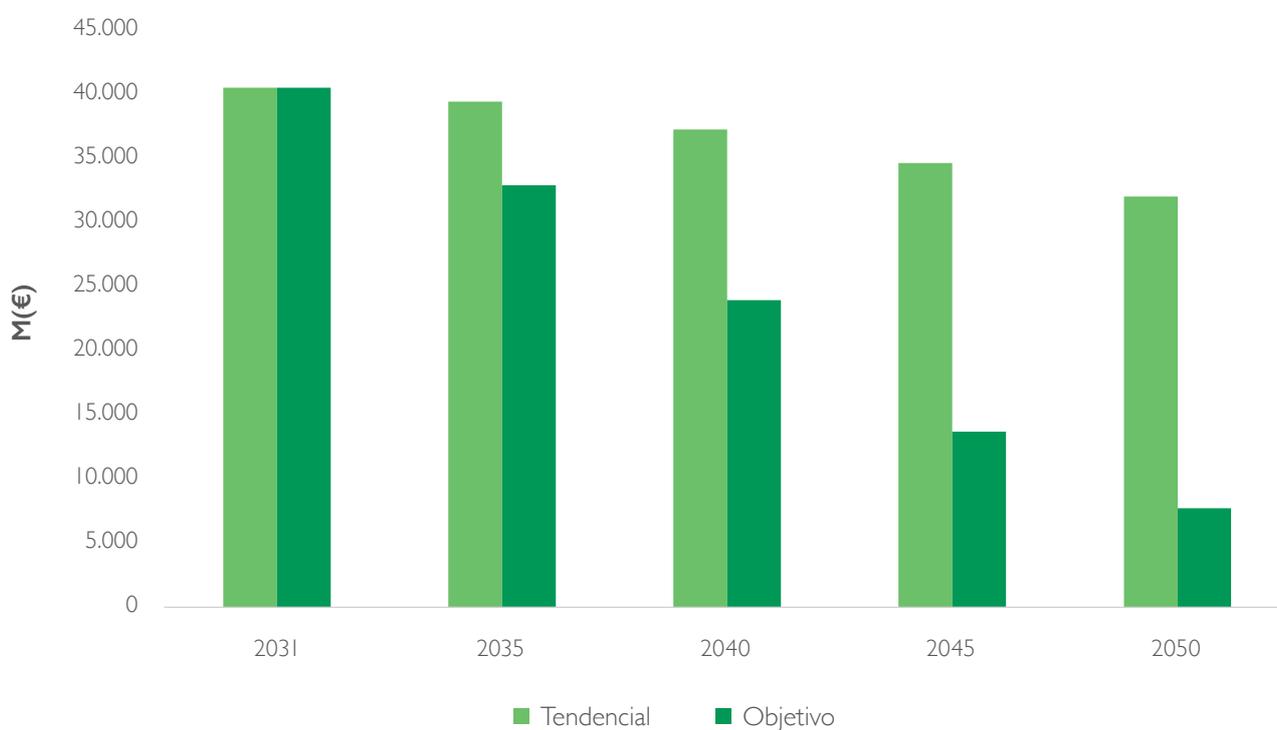
ANEXO D. ANÁLISIS DE IMPACTO ECONÓMICO, EMPLEO Y SOBRE LA SALUD

Además del aumento de la productividad de la energía, otro impacto muy importante consecuencia de la descarbonización de la economía es la reducción de la factura energética por importaciones de combustibles fósiles. En el caso de España, actualmente la práctica totalidad del consumo de energía fósil es importada. En el Escenario de Neutralidad Climática de esta estrategia, la reducción en la importación de combustibles fósiles es muy sustancial, lo que generará un ahorro importante que será muy positivo para la balanza comercial.

La Figura D. 7 muestra la evolución de dicha importación, incluye carbón, petróleo y gas, calculada según los precios establecidos por la Comisión Europea a 2050.

La factura asociada a la importación de combustibles fósiles pasaría de 40.000 millones € en 2031 a 32.000 millones € en 2050 en el Escenario Tendencial y a 7.600 millones € en el Escenario de Neutralidad Climática. Si comparamos ambos escenarios, el ahorro adicional acumulado⁸⁶ en el periodo 2031-2050 en importaciones de combustibles fósiles ascendería a 277.000 M€.

FIGURA D.7 Evolución de la importación de combustibles fósiles (M€2016)

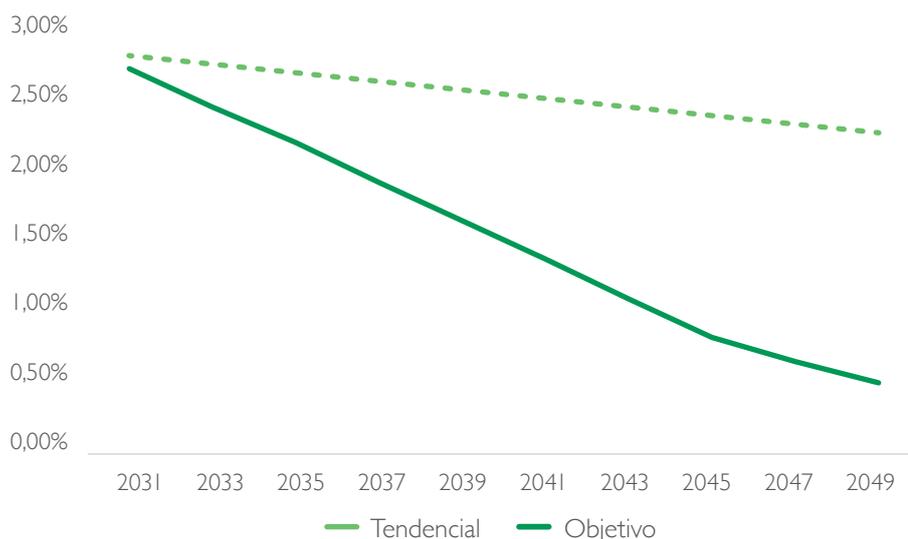


Fuente: BC3, con datos de TIMES-Sinergia (MITECO)

Las importaciones de combustibles fósiles, como se muestra en la Figura D. 8, pasarían de suponer un 2,8% del PIB nacional en 2031 a un 0,42% en el Escenario de Neutralidad Climática en 2050.

⁸⁶ El ahorro acumulado supondría para la toda la UE, según los escenarios de la CE, entre 1,4 y 3 billones de euros en el periodo 2031-2050, y el porcentaje de los combustibles fósiles sobre el PIB se reduciría del 2,5% en 2031 al 0,5-0,8% en 2050.

FIGURA D.8 Evolución de las importaciones de combustibles fósiles como % del PIB



Fuente: BC3, con datos de TIMES-Sinergia (MITECO)

D.5.2 Impactos sobre el PIB y el empleo

En esta sección se presentan los impactos macroeconómicos de la Estrategia sobre el PIB y el empleo. Los resultados están determinados por tres efectos principales.

En primer lugar, por el efecto positivo generado por los flujos de inversiones adicionales que son necesarios para alcanzar la neutralidad climática en 2050. Estas inversiones, como se ya se ha mostrado en la Figura D. 5, son crecientes en el tiempo y con respecto al PIB y, por lo tanto, también lo son sus efectos sobre la economía.

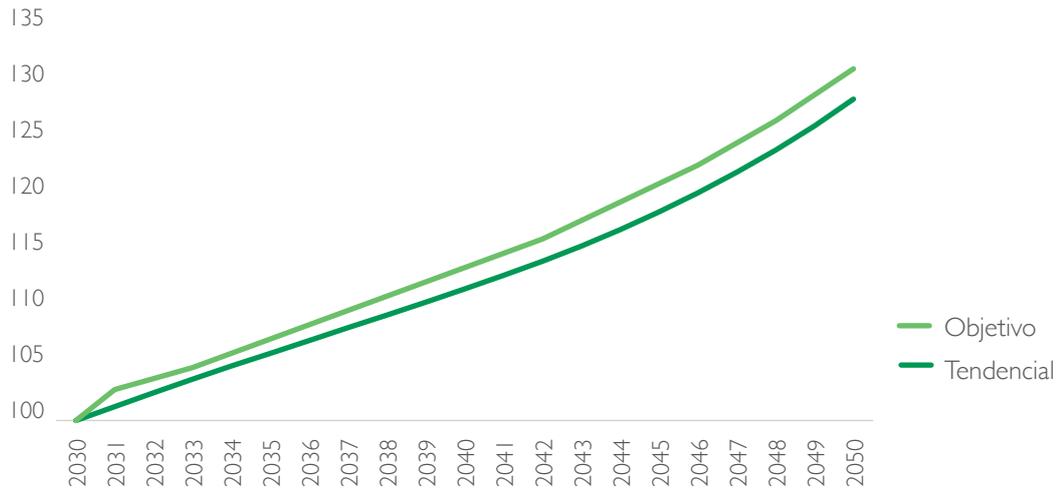
En segundo lugar, por el efecto que provoca el cambio del sistema energético. Este cambio tiene un efecto positivo en los indicadores macroeconómicos, por un lado, por el mayor ahorro energético conseguido debido a la utilización de tecnologías más eficientes. Por otro, por disponer de un mix energético menos dependiente de combustibles fósiles importados, donde éstos son sustituidos casi por completo por energías renovables con una mayor generación de valor añadido nacional. El efecto del cambio en el sistema energético es más positivo hacia 2050, cuando las políticas hacen que se reduzca cada vez más el consumo energético, al tiempo que los precios de los combustibles fósiles son cada vez más altos.

Finalmente, por el efecto negativo derivado de los sobrecostes de mitigación en los sectores de difícil descarbonización o sectores “duros”, como el cemento, la siderurgia, el transporte pesado, el transporte marítimo y la aviación. Distintas fuentes⁸⁷ afirman que es técnicamente viable la descarbonización de los mismos, pero que las tecnologías necesarias serán más costosas que las alternativas fósiles que actualmente conocemos (ETC, 2018).

En todo caso, las soluciones planteadas para descarbonizar completamente estos sectores “duros” tendrán que ser globales o existirán medidas de protección especiales para la industria (ej. ajustes en frontera) y, por lo tanto, se puede asumir que no habrá pérdidas de competitividad con el exterior. Sin embargo, la mitigación aumentará sus costes de producción frente a las alternativas fósiles y, por lo tanto, se trasladarán, en parte, dichos sobrecostes a los precios finales de los productos, lo que supondrá una pérdida de poder adquisitivo y un impacto negativo sobre la economía. Estos sobrecostes van desde los 600 millones de € en 2031 a los 3.700 millones de € en 2050, lo que supone un impacto del 0,04% y 0,20% en el PIB respectivamente.

⁸⁷ ETC (2018), Mission possible: reaching a net-zero carbon emissions from harder-to-abate sector by mid-century, Energy Transitions Commission. http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf

FIGURA D.9 Evolución del PIB (2030=100) entre 2031-2050

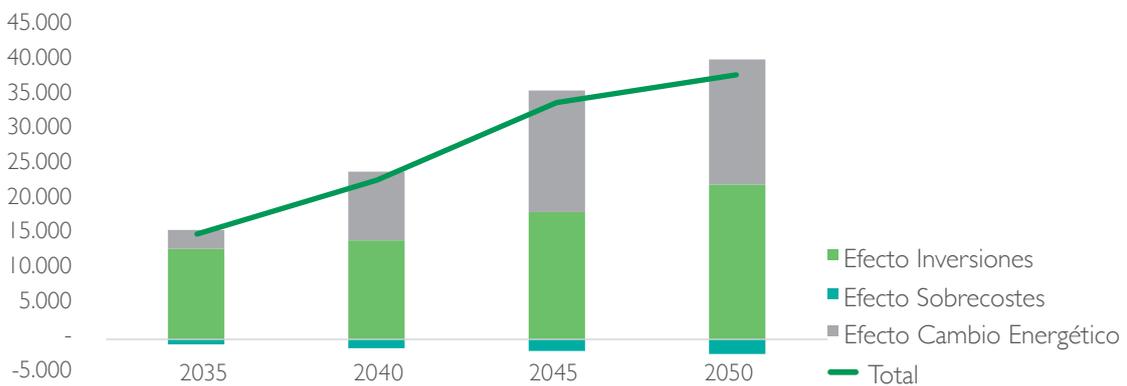


Fuente: Basque Centre for Climate Change

La Figura D. 9 muestra los resultados en términos de PIB entre 2031-2050. El PIB en 2050 en el Escenario de Neutralidad Climática sería un 2% más elevado⁸⁸ que en el Tendencial, lo que supone un aumento entre 32.000 y 42.000 millones (media de 37.000 M€).

El efecto del crecimiento del PIB se explica por el efecto de las tres vías mencionadas: inversiones adicionales, cambio del sistema energético y sobrecostes de mitigación en los sectores “duros” (Figura D. 10). Los resultados muestran que el efecto principal dominante al comienzo del periodo se debe a las inversiones⁸⁹, mientras que hacia el final del periodo el cambio en el sistema energético pasa a ser el principal motor de crecimiento. El efecto de las inversiones se mantiene mientras éstas son ejecutadas, no obstante, el efecto del cambio en el sistema energético continuaría después de 2050. También puede observarse que los sobrecostes de mitigación tienen un impacto negativo y creciente hacia 2050, pero comparado con los otros efectos es muy reducido.

FIGURA D.10 Variación del PIB por tipo de efecto, escenarios objetivo vs. tendencial (M€2016)



Fuente: Basque Centre for Climate Change

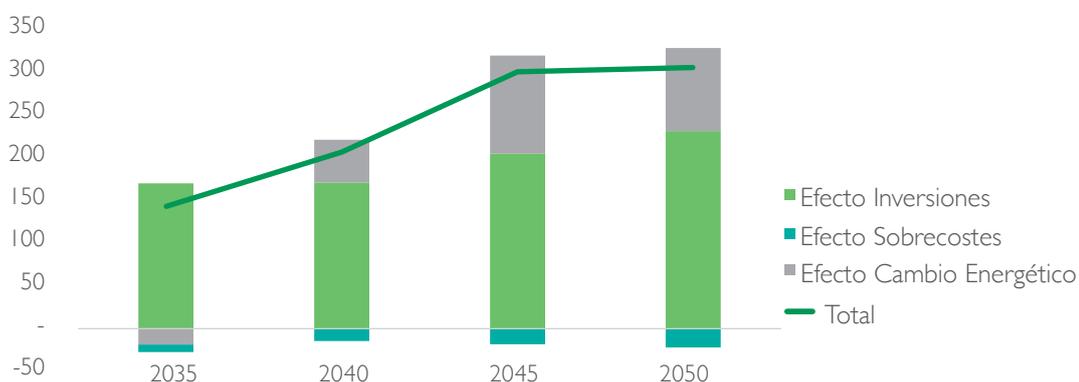
⁸⁸ Estos resultados no incluyen el denominado efecto “rebote”, esto es, el aumento del consumo energético derivado del aumento de actividad. Este efecto requeriría una integración completa (“hard-link”) entre el modelo energético TIMES-Sinergia y el modelo económico DENIO. No obstante, el efecto rebote para esto niveles tan elevados de descarbonización sobre las emisiones de GEIs será reducido.

⁸⁹ Se considera que las inversiones privadas no generan efectos “crowding-out”. En un caso extremo en el que se considerase que esa inversión desplaza el 100% de otras inversiones, la adicionalidad desaparecería y, con ello, los impactos de las inversiones.

En cuanto a los impactos sobre el empleo, el número de personas empleadas aumentaría en una horquilla estimada entre 250.000 y 350.000 personas en 2050, lo que supone un aumento del 1,6% con respecto al Tendencial (Figura D. 11).

Al igual que en el caso del PIB, el impacto en el empleo viene dado principalmente por el efecto de las inversiones y por el cambio en el sistema energético. En este caso, el crecimiento se modera a finales del periodo por el aumento sostenido de la productividad del trabajo, lo que implica un menor número de empleos por unidad de PIB generada. De nuevo, el efecto de los sobrecostos de mitigación en los sectores “duros” tiene un impacto negativo pero moderado en el empleo a finales de 2050.

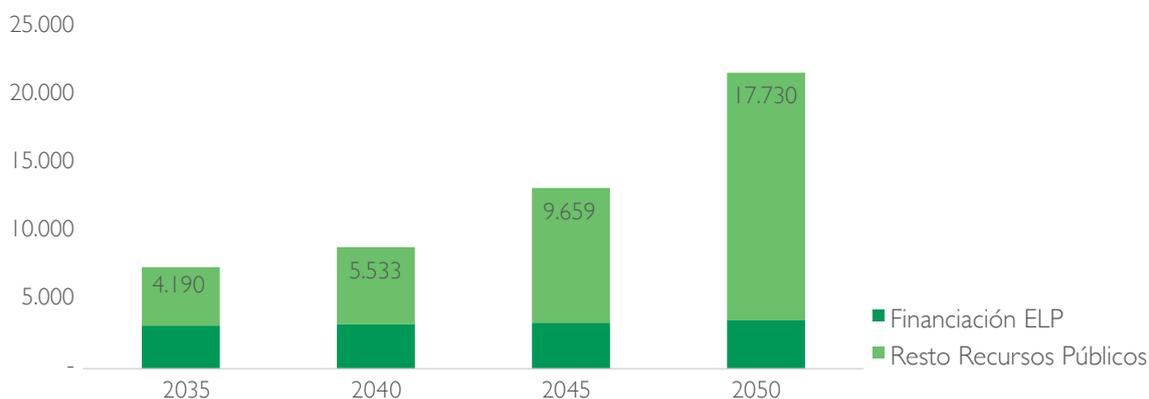
FIGURA D.11 Variación del empleo por efecto, escenarios objetivo vs. tendencial (miles)



Fuente: Basque Centre for Climate Change

Este aumento de la actividad económica también tiene un impacto positivo a nivel de recaudación y, por lo tanto, a nivel del gasto público. Aunque la recaudación por los impuestos a los combustibles fósiles se reduce con el tiempo, la recaudación total aumenta fruto del mayor crecimiento económico, todo ello sin modificar los tipos impositivos y manteniendo el equilibrio presupuestario. De hecho, y tal y como muestra la Figura D. 12, en el año 2050 los ingresos adicionales de las Administraciones Públicas serían más que suficientes para cubrir los recursos públicos⁹⁰ destinados a financiar las actuaciones de la Estrategia.

FIGURA D.12 Variación ingresos/gasto público, escenarios objetivo vs. tendencial (M€)



Fuente: Basque Centre for Climate Change

⁹⁰ Se ha considerado el mismo ratio inversión pública-privada que el PNIEC para el periodo 2021-2030. Esto es, un 80% de la inversión en privada frente a un 20% que es financiación pública.

D.5.3 Impactos en la salud

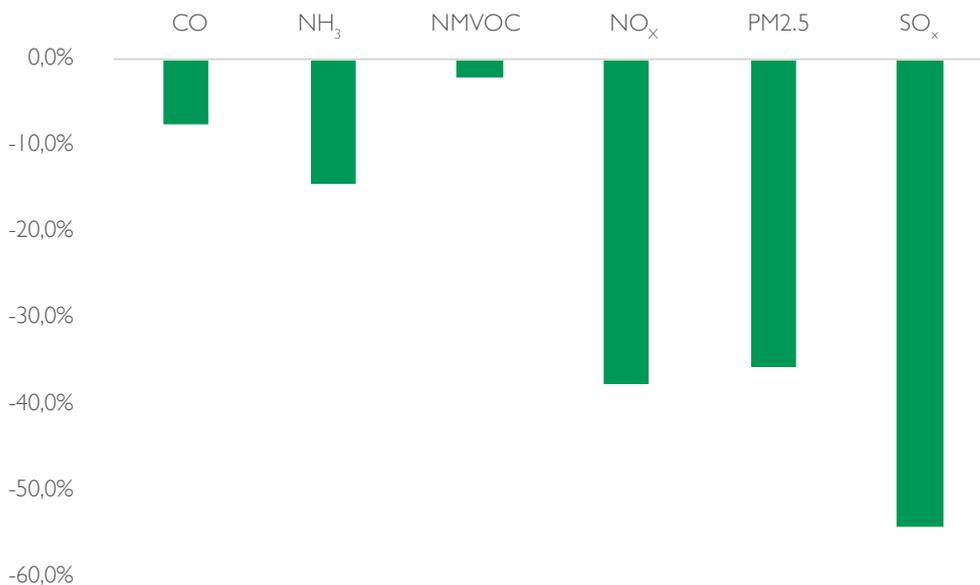
Esta sección recoge los cobeneficios en términos de salud asociados a las medidas y políticas necesarias para alcanzar la neutralidad climática en 2050. La reducción de las emisiones de GEI tiene efectos positivos sobre la salud pública ya que consigue reducir también las emisiones de contaminantes atmosféricos, asociados en muchas ocasiones a los mismos procesos productivos, y a las sinergias existentes entre las políticas climáticas y las políticas de control de la calidad del aire.

La emisión de contaminantes atmosféricos supone importantes daños sobre la salud de las personas. Los contaminantes atmosféricos que mayores efectos producen son las partículas finas (PM2.5) y el ozono troposférico (O₃). Las PM2.5 son la principal causa de muertes prematuras debidas a la mala calidad del aire, provocando problemas en los sistemas respiratorios (cáncer de pulmón), cardiovasculares o cerebrales (ataques isquémicos). En cuanto al ozono troposférico (O₃), aunque normalmente suele asociarse con daños en los sistemas agrícolas, también produce importantes efectos negativos sobre la salud, principalmente enfermedades de tipo respiratorio.

La concentración de estos agentes contaminantes depende en gran medida de las emisiones primarias derivadas de la actividad económica, de la interacción entre ellos y de su transporte a escala espacial. El principal contaminante atmosférico directo son las emisiones de PM2.5 primarias⁹¹, cuya fuente de emisión principal es la biomasa. Otros contaminantes atmosféricos como el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos nitrosos (NO_x), que son los principales contaminantes atmosféricos que provocan la formación de PM2.5 secundarias, proceden principalmente de otras actividades como la quema de carbón en la industria (es el caso del SO₂), de otros procesos industriales y del sector transporte (es el caso de los NO_x).

En España, según la Organización Mundial de la Salud⁹² (OMS, 2015) se estima que, en el año 2010, las muertes prematuras provocadas por la contaminación atmosférica alcanzaron las 14.042. Según el PNIEC dichas muertes prematuras se reducirán hasta alrededor de 6.500 muertes prematuras en 2030.

FIGURA D.13 Variación de las emisiones contaminantes atmosféricas en 2050 respecto al escenario tendencial (%)



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

⁹¹ Tal y como se decía en el PNIEC, aunque el consumo de biomasa aumenta significativamente, el progreso tecnológico provoca que el factor de emisión de este recurso se reduzca notablemente, por lo que, a nivel agregado, las emisiones absolutas de PM2.5 disminuyen progresivamente durante el periodo de análisis. Esta reducción además es consistente con la normativa actual (Directiva UE 2016/2284), que exige que, en 2030, las emisiones de PM2.5 primarias deban ser inferiores al 50% del valor del año 2010.

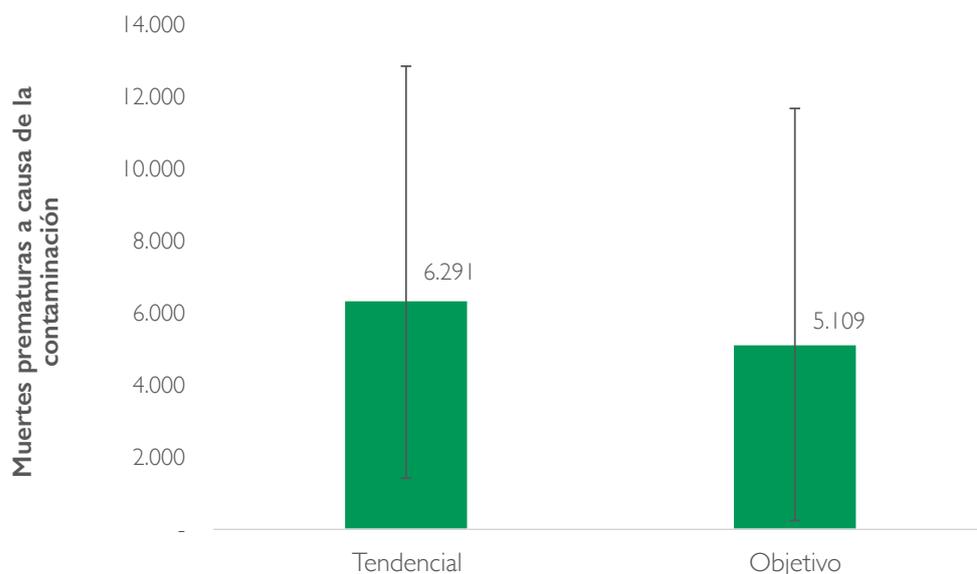
⁹² http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf

En la Figura D. 13 se recoge la variación de los principales contaminantes atmosféricos entre el Escenario Objetivo con respecto al Tendencial en 2050. Como puede observarse, las emisiones de SO₂, NO_x y PM2.5 se reducen un 55%, un 38% y un 36%, respectivamente. El resto de las emisiones también se reducen, aunque en menor cuantía, ya que estos otros contaminantes necesitan medidas adicionales y específicas para el control de la contaminación no asociadas directamente a la mitigación de GEI.

Estas reducciones conllevan una disminución de los daños sobre la salud pública, que se han calculado a través de las muertes prematuras derivadas de la contaminación utilizando el modelo TM5-FASST en España. Este modelo permite capturar precisamente cómo la reducción de las emisiones, genera una reducción en las concentraciones, y, por tanto, un menor número de las muertes prematuras por la mala calidad del aire utilizando funciones integradas de tipo exposición-respuesta (Burnett et al., 2014).

En este sentido, se ha considerado el ligero crecimiento poblacional estimado por el INE para el periodo 2031-2050 y que los daños por la contaminación no siguen una senda lineal con respecto a las emisiones y las concentraciones, ya que esto depende de cada causa de muerte. El efecto total de ambas consideraciones es que para reducir una unidad de daños sobre la salud es necesario reducir cada vez en mayor proporción las emisiones contaminantes.

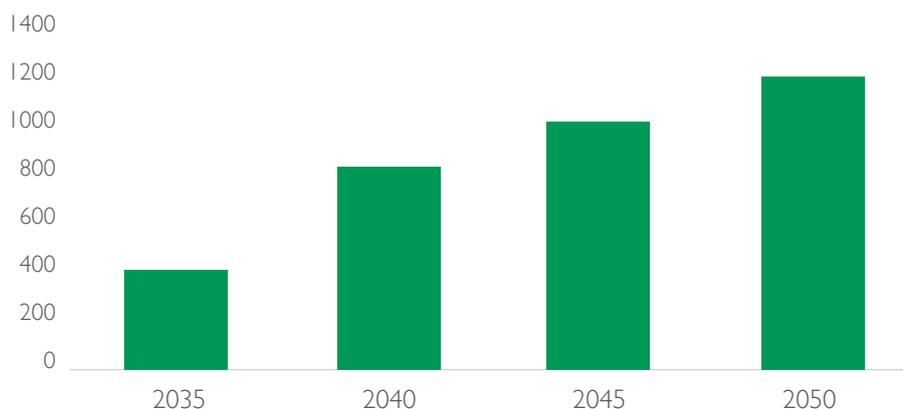
FIGURA D.14 Muertes prematuras en España derivadas de la contaminación atmosférica en el año 2050



Fuente: Basque Centre for Climate Change

En la Figura D. 14 se muestran las muertes prematuras derivadas de la contaminación atmosférica para el Escenario Tendencial y en el Escenario Objetivo (Escenario de Neutralidad Climática) en el año 2050, y en la Figura D. 15 la evolución de las muertes prematuras evitadas en todo el periodo. La serie de medidas aplicadas en la Estrategia hace que las muertes prematuras en el año 2050 se reduzcan en alrededor de 1.200 personas en el Escenario Objetivo respecto al Tendencial. Estos valores suponen en 2050, para el Escenario de Neutralidad Climática, una reducción del 22% con respecto a 2030 y una reducción del 64% con respecto a los valores de 2010.

FIGURA D.15 Evolución de las muertes prematuras evitadas en el periodo 2031-2050 (Escenario Objetivo frente al Tendencial)



Fuente: Basque Centre for Climate Change

En resumen, las políticas y medidas introducidas en la Estrategia para alcanzar la neutralidad climática en 2050 generan importantes cobeneficios en términos de salud, ya que la reducción de las emisiones de GEI y la interacción entre las políticas climáticas y de control de la contaminación suponen importantes reducciones de las emisiones contaminantes tanto de las partículas primarias (PM2.5) como secundarias (sobre todo NO_x y SO₂), lo que tendrá como consecuencia una mejora en la calidad del aire y en la salud de las personas.

D.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En este apartado se recoge un análisis⁹³ de sensibilidad sobre los resultados macroeconómicos. Aunque son muchos los elementos y parámetros utilizados en la modelización del impacto de la Estrategia, para este caso se han escogido dos factores sobre los que existe mayor incertidumbre: 1) los precios de la electricidad en un sistema 100% renovable y 2) los sobrecostes de mitigación en los sectores “duros” o de difícil descarbonización.

A continuación, se presentan los distintos supuestos que se han asumido:

- ▶ Precio de la electricidad: para capturar la incertidumbre respecto a la reducción futura de los costes de las renovables o los del almacenamiento y que determinará los precios de la electricidad de un sistema 100% renovable, se ha escogido como rango de incertidumbre la variación máxima que se utiliza en la hoja de ruta de la Comisión Europea, que es del 25%. En este análisis se modifican, por tanto, los precios finales de la electricidad un +/-25% con respecto al escenario central.
- ▶ Sobrecoste de los sectores “duros”: los costes de mitigación son los utilizados en el informe ETC (2018) que ofrece un rango por sector. En el escenario central se ha asumido que los sobrecostes se reducen del rango máximo del informe ETC (2018) en 2030 al mínimo en 2050. En los escenarios alternativos, se plantean dos opciones. La primera, la opción de costes altos, donde no se reducen con el tiempo. La segunda, la opción de costes bajos, donde los costes se reducen un 25% para 2050. Los costes de mitigación⁹⁴ de los sectores duros en 2050 pasarían de los 3.700 millones de euros en el escenario central, a 2.300 M€ en el escenario de costes bajos y a 4.900 millones de euros en el de costes altos.

⁹³ El análisis de sensibilidad se ha realizado únicamente sobre el modelo económico DENIO, pero no sobre el modelo TIMES-Sinergia.

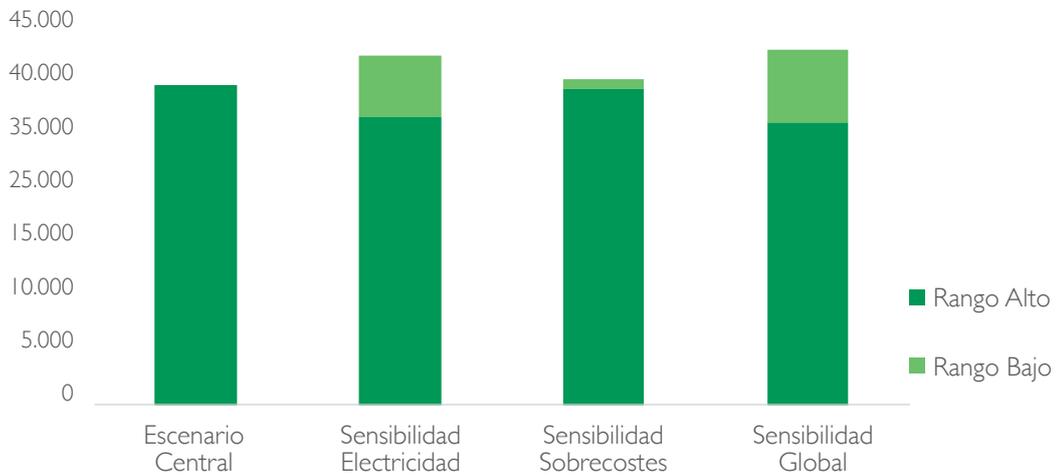
⁹⁴ Los costes implícitos del CO₂ en estos sectores pasarían de 118 €/tCO₂ en 2031 a 80€/tCO₂ en 2050 en el escenario central, a 106 €/tCO₂ en el escenario de costes altos y a 50 €/tCO₂ en el escenario de costes bajos.

En la Figura D. 16 y en la Figura D. 17 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad sobre el PIB y el empleo neto en 2050 respectivamente. En ambas figuras se muestran los resultados del análisis separado por fuente de incertidumbre y también la combinación de todas ellas (sensibilidad global).

En el caso de la electricidad, a mayores precios de la electricidad menor es el incremento del PIB y de la creación de empleos, ya que se reduce el ahorro energético y la posibilidad de utilizar estos recursos para otros gastos. El análisis de sensibilidad muestra una variación en la creación neta de entre 260.000 y 337.000 empleos.

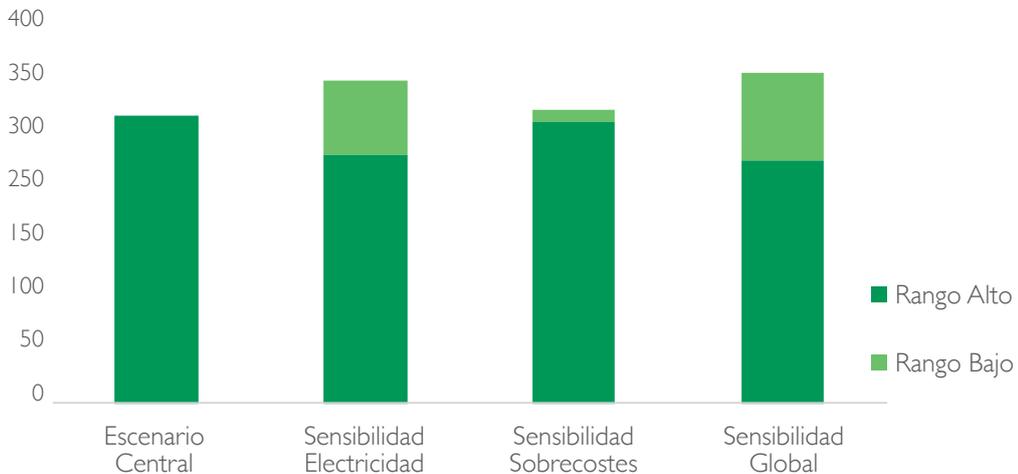
En el caso de los sobrecostos de mitigación en los sectores “duros”, cuanto mayor sean estos sobrecostos, menor será el PIB y empleo generado, ya que aumentan más los precios de los productos y se reduce la capacidad de gasto. El análisis de sensibilidad muestra una variación en la creación neta de empleo entre 293.000 y 353.000 empleos.

FIGURA D.16 Análisis de sensibilidad sobre el PIB en 2050, escenario objetivo respecto al tendencial (M€)



Fuente: Basque Centre for Climate Change

FIGURA D.17 Análisis de sensibilidad sobre el empleo en 2050, escenario objetivo vs. Tendencial (miles de empleos)



Fuente: Basque Centre for Climate Change

El análisis de sensibilidad global⁹⁵ muestra la sensibilidad del PIB y del empleo a los cambios en los 2 factores analizados de manera conjunta. Los resultados muestran que el total de empleos adicionales generados fluctuaría entre 253.000 (escenario con precios altos de la electricidad y costes altos de mitigación en los sectores duros) y 344.000 empleos (precios bajos de la electricidad y costes bajos de mitigación en los sectores duros). Por ello, en la sección de conclusiones los impactos macroeconómicos, el impacto en el empleo se situarán entre 250.000 y 350.000 empleos en 2050 y en el PIB, igualmente, entre 33.000 y 41.000 millones de euros.

D.7 CONCLUSIONES

Los estudios recientes de la OCDE (2017), la Comisión Europea (2018) o IRENA (2019) coinciden en identificar impactos económicos positivos asociados a la neutralidad climática en 2050. Estos estudios señalan que los países más beneficiados por la descarbonización serán aquellos con mayor dependencia de los combustibles fósiles y con mayor potencial de aprovechamiento de las energías renovables. El objetivo de este capítulo ha sido analizar el impacto económico y para la salud de la “Estrategia a Largo Plazo para una Economía Española Moderna, Competitiva y Climáticamente neutra en 2050”, mediante la comparación de un escenario tendencial (sin políticas adicionales a partir de 2030 aparte de las contenidas en el PNIEC) y el escenario objetivo (Escenario de Neutralidad Climática) que incluye las medidas para alcanzar la neutralidad climática en 2050. De acuerdo al análisis realizado se puede concluir lo siguiente:

En primer lugar, alcanzar la neutralidad climática supone una reducción casi completa en el consumo de combustibles fósiles que son sustituidos por energías renovables. La reducción en la importación de combustibles fósiles supone un ahorro acumulado para la economía española en el periodo 2031-2050 de 277.000 millones de €.

En segundo lugar, alcanzar la neutralidad climática necesitará inversiones adicionales en todos los sectores. Se estima que **las inversiones totales acumuladas en el período 2031-2050 alcanzarán los 500.000 millones, de los cuales 300.000 se consideran adicionales** como consecuencia de la implementación de esta Estrategia. Las inversiones adicionales anuales se sitúan en torno a un 1% del PIB, en línea con las cifras presentadas por la Estrategia a Largo Plazo Europea 2050.

En tercer lugar, los impactos macroeconómicos analizados son positivos. El PIB aumentará en el entorno del 2% en 2050 con respecto al Escenario Tendencial, resultado similar al obtenido por la OCDE (2017), en el entorno del 2,2% para el G20, o la CE (2018), en el entorno del 1,5-2,2% para la UE. Este mayor crecimiento económico supondrá un aumento en el PIB de entre 33.000 y 41.000 millones de € en 2050, lo que permitirá financiar las inversiones públicas necesarias y generar recursos adicionales para las Administraciones Públicas.

Alcanzar la neutralidad climática supone una reducción casi completa en el consumo de combustibles fósiles, que son sustituidos por energías renovables. La reducción en la importación de combustibles fósiles supone un ahorro acumulado para la economía española en el periodo 2031-2050 de 277.000 millones de €.

En cuarto lugar, y fruto de la expansión económica, el empleo neto aumentará entre 250.000 y 350.000 personas en 2050 respecto al Escenario Tendencial, lo que supondrá un incremento en el entorno del 1,6%.

En quinto lugar, los cobeneficios asociados a la descarbonización reducen sustancialmente las emisiones de contaminantes atmosféricos y los daños sobre la salud. Las muertes prematuras en el año 2050 se reducirían un 22% con respecto a 2030, lo que supondría una reducción del 64% con respecto a los valores de 2010.

⁹⁵ Para realizar este análisis se han simulado 9 escenarios resultado de combinar los tres rangos de incertidumbre (alto, medio y bajo) y los dos factores seleccionados (precio de la electricidad y sobrecostes en los sectores “duros”).

En quinto lugar, los cobeneficios asociados a la descarbonización reduce sustancialmente las emisiones de contaminantes atmosféricos y los daños sobre la salud. Las muertes prematuras en el año 2050 se reducirían un 22% con respecto a 2030, lo que supondría una reducción del 64% con respecto a los valores de 2010.

Finalmente, y a modo de conclusión final, puede afirmarse que las oportunidades económicas para España analizadas en el PNIEC para el periodo 2021-2030, continuarán en el periodo 2031-2050 de la Estrategia. El ahorro y la eficiencia energética, las energías renovables y las soluciones para los sectores de difícil descarbonización seguirán siendo motores de nueva actividad económica y generación de empleo, siempre que se aprovechen estas oportunidades convenientemente.

D.8 MODELOS UTILIZADOS EN EL ANEXO D

Este anexo metodológico recoge una breve descripción de los modelos DENIO y TM5-FASST utilizados en el estudio del “ANEXO D. ANÁLISIS DE IMPACTO ECONÓMICO, EMPLEO Y SOBRE LA SALUD”⁹⁶.

D.8.1 Descripción del modelo DENIO

El modelo DENIO (Modelo Dinámico Econométrico Neo-keynesiano Input-Output para España) es un modelo dinámico econométrico neo-keynesiano. DENIO es un modelo híbrido entre un modelo input-output econométrico y un modelo de equilibrio general computable (CGE). En el largo plazo el modelo funciona de manera similar a un modelo CGE, pero tiene la ventaja de permitir describir explícitamente una senda de ajuste hacia el equilibrio. DENIO está desarrollado a partir del modelo FIDELIO (Fully Interregional Dynamic Econometric Long-term Input-Output Model) de la Comisión Europea (Kratena et al., 2013, Kratena et al. 2017).

El modelo DENIO tiene una elevada desagregación a 74 sectores, 88 productos, 22.000 tipos de hogares y 16 categorías de consumo y permite analizar los impactos económicos en variables clave como el empleo, el PIB, la balanza comercial o la distribución de renta. El modelo es flexible y está diseñado para analizar el impacto económico de políticas públicas y medidas de tipo económico, energético, ambiental o fiscal.

El modelo DENIO tiene una elevada desagregación a 74 sectores, 88 productos, 22.000 tipos de hogares y 16 categorías de consumo y permite analizar los impactos económicos en variables clave como el empleo, el PIB, la balanza comercial o la distribución de renta.

El núcleo Input-Output del modelo se basa en las tablas de Origen y Destino del año 2014 (último disponible) elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística. El modelo de producción vincula las estructuras de producción (tecnologías Leontief) de los sectores y productos a un modelo Translog con cuatro factores de producción (capital, trabajo, energía y resto de inputs intermedios). La demanda del factor energía se divide en 25 tipos que a su vez se enlazan con el modelo en unidades físicas (Terajulios y toneladas de CO₂). El conjunto de categorías de energía del modelo de sustitución de energías se vincula directamente con dos partes del modelo: **(i)** las cuentas físicas (Terajulios) de energía por sector y tipo de energía de EUROSTAT y **(ii)** los productos e industrias de la energía de las tablas de origen y destino en unidades monetarias. Para ello se utilizan una serie de precios implícitos que vinculan usos/producción de energía en unidades físicas (TJ) y en términos monetarios.

⁹⁶ Se puede encontrar una descripción más detallada de estas metodologías en el estudio de impacto económico del PNIEC 2021-2030: https://www.miteco.gob.es/prensa/informesocioeconomicopnieccompleto_tcm30-508411.pdf

D.8.2 Descripción del modelo TM5-FASST

El TM5-FASST es un modelo tipo “fuente-receptor” global de calidad del aire (AQ-SRM) desarrollado por el Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea en Ispra, Italia. TM5-FASST permite analizar los efectos en términos de salud o daños ecosistémicos derivados de diferentes escenarios o sendas de emisiones. A través de información meteorológica o químico-atmosférica, el modelo analiza cómo las emisiones de una determinada fuente afectan a los diferentes receptores (en celdas) en términos de concentración, exposición y, en consecuencia, de muertes prematuras. Toda la documentación sobre este modelo puede encontrarse en Van Dingenen et al., 2018. Este modelo ha sido utilizado para realizar diferentes estudios a nivel global o regional entre los que se encuentran (Kitous et al., 2017) o (Markandya et al., 2018). También ha sido utilizado por instituciones como la OCDE para proyectar, a futuro, los posibles efectos en términos de salud de la contaminación (OCDE, 2016).

Los niveles de concentración de un determinado contaminante se calculan mediante coeficientes que representan las diferentes relaciones entre fuentes y receptores/celdas. A pesar de que el modelo cubre todo el mundo mediante celdas de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (~100 km), este proceso fue realizado para 56 regiones (Van Dingenen et al., 2018).

El modelo permite capturar que los gases emitidos en cierta fuente “x” pueden afectar a distintos receptores y, a su vez, cada gas precursor también puede afectar indirectamente a los niveles de concentración de más de un contaminante. Por ejemplo, las emisiones de NO_x (que es un gas precursor) afectan no solo a la formación de partículas $\text{PM}_{2.5}$ en la atmósfera, sino que también influyen en los niveles de ozono (O_3). Una vez obtenidos los niveles de concentración de los contaminantes, el modelo permite analizar diferentes efectos derivados de dichos niveles, como los impactos de la contaminación en la salud o los posibles daños en los sistemas agrícolas.

TM5-FASST permite analizar los efectos en términos de salud o daños ecosistémicos derivados de diferentes escenarios o sendas de emisiones.

En el caso de la salud, los niveles de concentración de partículas finas ($\text{PM}_{2.5}$) y ozono son los más relevantes. Estos efectos son calculados como muertes prematuras derivadas de la exposición a dichos contaminantes teniendo en cuenta las distintas causas definidas en Forouzanfar et al., 2016a, entre las que se encuentran: enfermedades cardiovasculares, respiratorias, embolias o cáncer de pulmón. Los parámetros y el cálculo de las muertes prematuras por enfermedad están detallados en Burnett et al., 2014.

D.7 BIBLIOGRAFÍA DEL ANEXO D

Burnett, R.T., Pope, C.A., III, Ezzati, M., Olives, C., Lim, S.S., Mehta, S., Shin, H.H., Singh, G., Hubbell, B., Brauer, M., Anderson, H.R., Smith, K.R., Balmes, J.R., Bruce, N.G., Kan, H., Laden, F., Prüss-Ustün, A., Turner, M.C., Gapstur, S.M., Diver, W.R., Cohen, A., 2014. An Integrated Risk Function for Estimating the Global Burden of Disease Attributable to Ambient Fine Particulate Matter Exposure. *Environ. Health Perspect.*

CE (2018). A Clean planet for all: A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive, and climate neutral economy, European Commission, Brussels.

ETC (2018), Mission possible: reaching a net-zero carbon emissions from harder-to-abate sector by mid-century, Energy Transitions Commission.

IRENA (2019). Global energy transformation: A roadmap to 2050, International Renewable Energy Agency.

Keramidas, K., Tchung-Ming, S., Diaz-Vazquez, A. R., Weitzel, M., Vandyck, T., Després, J., Schmitz, A., Rey Los Santos, L., Wojtowicz, K., Schade, B., Saveyn, B., Soria-Ramirez, A., Global Energy and Climate Outlook 2018: Sectoral mitigation options towards a low-emissions economy – Global context to the EU strategy for long-term greenhouse gas emissions reduction, EUR 29462 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97462-5, doi:10.2760/67475, JRC113446.

Markandya, A., Sampedro, J., Smith, S.J., Van Dingenen, R., Pizarro-Irizar, C., Arto, I., González-Eguino, M., 2018. Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris Agreement: a modelling study. *Lancet Planet. Health* 2, e126–e133.

OECD (2016). The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution, 2016. OECD Publishing.

OECD (2017). Investing in Climate, investing in Growth, OECD Publishing.

OMS (2015). Economic Cost of the Health Impact of Air Pollution in Europe: Clean Air, Organización Mundial de la Salud.

ANEXO E

ESCENARIO PROPUESTO
PARA LA NEUTRALIDAD
CLIMÁTICA

E.1 INTRODUCCIÓN

En el presente Anexo se muestran los resultados obtenidos tras aplicar las medidas del documento que conducen a la descarbonización de la economía española para el año 2050. La base analítica incluye las políticas y medidas presentadas en el resto del documento. Además, se ha incluido la cartera de nuevas tecnologías disponibles para hacer frente al objetivo de descarbonización en 2050. Este objetivo implica que las emisiones de todos los sectores energéticos y no energéticos sean iguales a los sumideros de los que se dispondrá en ese año.

La elevada reducción de emisiones en el año 2050 con respecto al nivel actual, que supondrá una reducción de en torno al 90% con respecto a los niveles de 1990, supone un reto en diversos sentidos. Por un lado, la economía española es, en la actualidad, fuertemente dependiente del petróleo, en concreto, el 45% de la energía primaria en 2018 procedía de esta fuente.

Por otro lado, tal y como se ha recogido en los epígrafes de este documento, en determinados sectores no existen tecnologías disponibles para la descarbonización que estén desarrollados comercialmente, y puedan sustituir a las tecnologías convencionales.

Por último, los niveles actuales de consumo energético implican un elevado número de emisiones, por tanto, es crucial reducir esta demanda, desacoplando las emisiones de la noción de desarrollo. Esta disminución de energía utilizada se aborda fundamentalmente a través de dos vías. En primer lugar, mediante una profundización de la implementación de políticas de eficiencia energética, y, en segundo término, con la reducción de consumos energéticos a través de la economía circular.

Adicionalmente, los cambios de comportamiento son necesarios para la transformación del sistema energético hacia la descarbonización. Una evolución hacia unos patrones de movilidad más sostenibles son quizá el ejemplo más evidente y, estas modificaciones de las conductas son uno de los factores necesarios para alcanzar la neutralidad climática.

En definitiva, la neutralidad climática entraña un cambio de paradigma de todo el sistema económico y social. La agrupación de estos cambios se ha trasladado al modelo energético para tener una estimación de los esfuerzos sectoriales y las carteras tecnológicas necesarias en la descarbonización, con el objetivo de reducir el calentamiento global.

Los niveles actuales de consumo energético implican un elevado número de emisiones, por tanto, es crucial reducir esta demanda, desacoplando las emisiones de la noción de desarrollo.

Para abordar todos los cambios necesarios en este ejercicio se han introducido tecnologías neutras en carbono en aquellos sectores en los que se espera un desarrollo suficiente antes del año 2050. Atendiendo a una desagregación sectorial, en algunos casos existe una cartera de tecnologías neutras en carbono que tendrán un grado de utilización sectorial según su coste y las características de funcionamiento. Uno de los ejemplos más evidentes es el sistema eléctrico, en el que, en la actualidad, ya se dispone de una amplia cartera de soluciones tecnológicas neutras en carbono.

En otros sectores, se han incluido aquellas tecnologías, descritas en detalle a lo largo del documento, para las que se espera un grado de desarrollo suficiente para que estén disponibles a escala comercial.

En otros casos, no ha sido posible encontrar una solución tecnológica que descarbonice totalmente el sector: Estas emisiones remanentes serán, por tanto, compensadas con los sumideros antes del año 2050. Afrontar la neutralidad climática en 2050 ha supuesto resolver una serie de retos sectoriales. En este ejercicio, en algunos sectores, a día de hoy, las tecnologías disponibles para la descarbonización tienen una cartera reducida de elección. En cualquier caso, la evolución de la investigación y el desarrollo determinarán en el futuro cuál es la ruta final de descarbonización.

Este ejercicio se ha realizado con el estado de la técnica disponible, junto con su evolución esperada, pero esto no excluye la posibilidad de que en el futuro se desarrollen nuevas tecnologías no consideradas aquí, o bien, que la evolución de costes determine una participación en el sistema productivo distinta a la contenida en este documento.

E.2 RELACIÓN ENTRE EL PNIEC Y LA ELP

Los modelos empleados para el ejercicio de la ELP son los mismos que se han empleado en la elaboración del PNIEC. La única diferencia son los horizontes temporales, dado que el PNIEC finaliza sus estimaciones en el año 2030, y la Estrategia proyecta la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero hasta el año 2050.

La principal virtud que se extrae de emplear la misma base analítica, es la total coherencia entre la ELP y el PNIEC. Se expone a continuación los diferentes escenarios que existen en los dos documentos:

FIGURA E.17 Esquema de los escenarios analizados en el PNIEC y en la ELP



En el PNIEC se analiza un escenario tendencial y uno objetivo:

- ▶ **Escenario Tendencial PNIEC 2030:** este escenario representa la previsible evolución de la economía española en el caso de que no se pongan en práctica las políticas y medidas incluidas en el PNIEC. Tan sólo tiene en cuenta las políticas y medidas aprobadas hasta el 31 de diciembre de 2019.
- ▶ **Escenario Objetivo PNIEC 2030:** Este escenario representa la tendencia una vez se supera el año 2030. Es decir, que es el escenario tendencial de la ELP. Por lo tanto, tendría en consideración las políticas y medidas previstas en el Plan, y que se pondrán en marcha hasta el 31 de diciembre de 2030.

Este escenario **alcanza en 2030 una reducción del entorno del 23% de emisiones de gases de efecto invernadero respecto a 1990**. No obstante, **no alcanza el objetivo de neutralidad climática a 2050**, dado que para ello es necesario poner en práctica las políticas y medidas adicionales incluidas en el presente documento y que cubren las décadas 2030-2040 y 2040-2050.

En la ELP, análogamente, se incluyen dos escenarios: Tendencial y Objetivo. No obstante, como se ha visto previamente, el Tendencial a partir de 2030 es una continuación del escenario objetivo del PNIEC, puesto que se asume su cumplimiento.

- ▶ **Escenario Tendencial ELP 2050**, denominado en adelante **Escenario Tendencial**. Como se ha mencionado previamente, este escenario es el escenario objetivo del PNIEC prolongado hasta 2050 y no cumple con el objetivo de neutralidad climática.
- ▶ **Escenario Objetivo ELP 2050**, denominado en adelante, **Escenario ELP o Escenario de Neutralidad Climática**. En él se incluyen todas las políticas y medidas necesarias para alcanzar el objetivo de neutralidad climática a 2050.

E.3 MODELOS EMPLEADOS EN LA ELP

Tal y como se ha expuesto previamente, los modelos empleados para el desarrollo de la base analítica de la ELP han sido los mismos que los empleados para el PNIEC (para ver más detalle sobre los modelos empleados en el análisis de impactos ver ANEXO D apartado D.8). Por lo tanto, es de aplicación lo contenido en el anexo correspondiente del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima con las siguientes salvedades:

- ▶ El horizonte temporal analizado se ha extendido hasta 2050, en lugar de hasta 2030 que es hasta donde analiza el PNIEC.
- ▶ Las tecnologías incluidas en el modelo para satisfacer las distintas demandas, así como los datos asociados a las mismas, presentan una incertidumbre mucho más elevada en el horizonte 2050 que en el horizonte 2030.
- ▶ Los datos de las variables macroeconómicas, también presentan mucha más incertidumbre. Asimismo, tal y como se verá posteriormente, ha habido que prolongar las series, dado que la información suministrada por la Comisión Europea en el marco del PNIEC llegaba hasta el año 2040.
- ▶ Por los motivos anteriores, en algunos casos la solución que el modelo adopta para el año 2050 debe tomarse como un conjunto de opciones que representan la solución óptima. Si bien siempre considerando que este óptimo se calcula con la información de la que se dispone hoy en día. Y que, por lo tanto, está sometida a una incertidumbre elevada.
- ▶ En referencia a lo comentado en la introducción, este ejercicio se ha realizado con el estado de la técnica disponible, pero esto no excluye la posibilidad de que en el futuro se desarrollen nuevas tecnologías no consideradas, o bien, que la evolución de costes determine una participación en el sistema energético-productivo distinta a la contenida en este documento.

Este ejercicio se ha realizado con el estado de la técnica disponible y no excluye la posibilidad de que en el futuro se desarrollen nuevas tecnologías no consideradas, o bien, que la evolución de costes determine una participación en el sistema energético-productivo distinta.

E.4 HIPÓTESIS

En este apartado, se exponen las principales variables macroeconómicas que se han considerado en los escenarios analizados. Señalar que las hipótesis de las variables son totalmente coherentes con las empleadas para el PNIEC. Estas hipótesis fueron suministradas por la Comisión Europea hasta el año 2040. A partir de ese año, se han realizado las siguientes previsiones:

- ▶ **PIB:** la previsión del MINECO incluye los datos de PIB hasta el año 2050.
- ▶ **Población:** Se parte del dato real de población de los años 2016 y 2017 del Instituto Nacional de Estadística y se proyecta hasta el año 2050 empleando el informe de la Comisión Europea: *"The 2018 Ageing Report: Economic and Budgetary Projections for the EU Member States (2016-2070)"*⁹⁷ (en adelante: Ageing Report).
- ▶ **Precios combustibles:** se han empleado las hipótesis remitidas por la Comisión Europea que llegan hasta el año 2040. Para completar el periodo hasta 2050, se ha empleado las hipótesis de evolución de precios definidas por el JRC para su uso como datos de partida en el modelo POTEnCIA (marzo de 2018).
- ▶ **Precios CO₂:** se han empleado las hipótesis remitidas por la Comisión Europea que llegan hasta el año 2040. A partir de ese año se ha empleado la hipótesis de crecimiento contenida en el EU Reference Scenario 2016⁹⁸ publicado por la Comisión Europea.

⁹⁷ Este informe está accesible en el siguiente enlace: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/economy-finance/ip065_en.pdf

⁹⁸ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf

E.4.1 Producto Interior Bruto y población

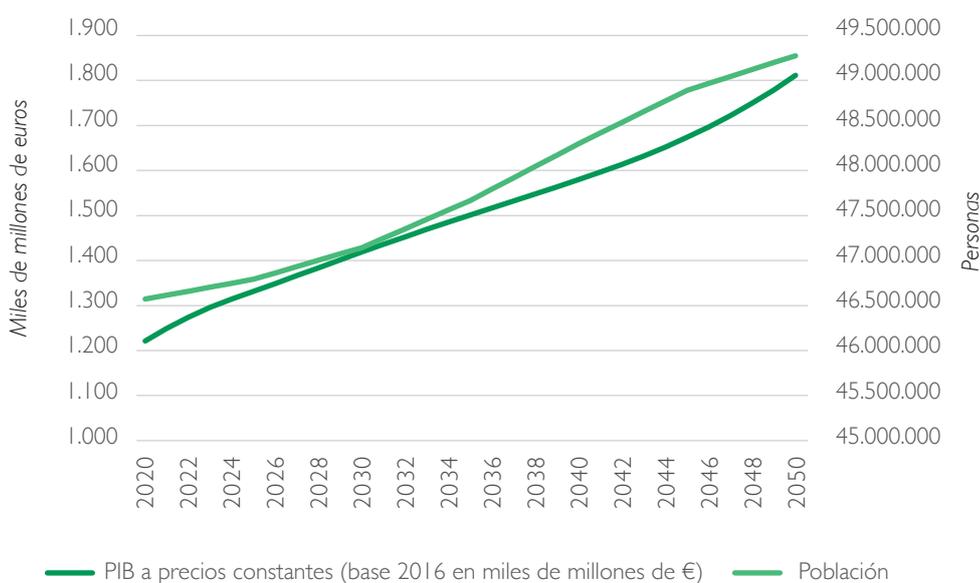
La proyección del Producto Interior Bruto ha sido proporcionada por el MINECO. Se actualizó por última vez con la última revisión del Programa de Estabilidad del año 2018.

La proyección del PIB más allá del horizonte contenido en el programa de estabilidad corresponde al escenario macroeconómico, construido a partir de las tablas input-output de la economía española. Dicho escenario, que prevé un crecimiento medio del PIB en el periodo 2021-2050 de un 1,32%, utiliza como dato de partida la evolución de la población contemplada en el *Ageing Report*.

La proyección de población es la incluida en el mencionado *Ageing Report*, pero empleando como dato de partida el contenido en el INE, con el objeto de garantizar así la coherencia entre las proyecciones de PIB y población. La población española experimenta un crecimiento de un 5,8% en el período comprendido entre el año 2020 y el 2050.

En la siguiente gráfica, se puede observar la evolución de ambas variables:

FIGURA E.2 Proyecciones de PIB y población



Fuente: Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital

E.4.2 Número de hogares

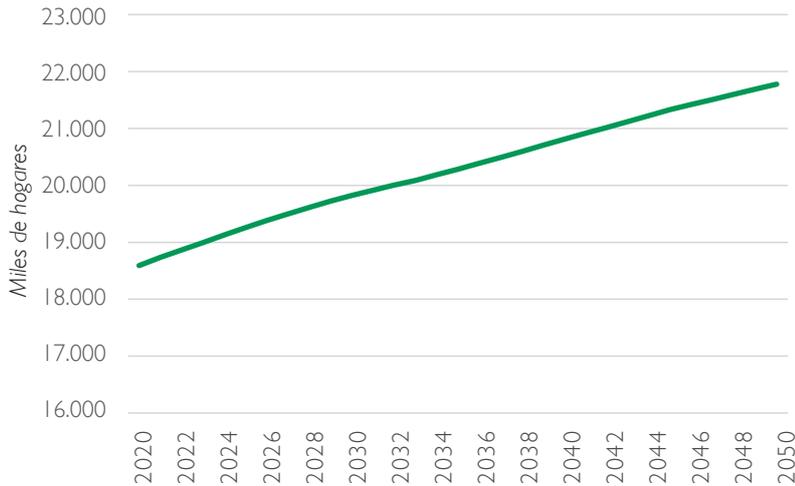
Respecto del número de hogares cabe señalar lo siguiente:

- ▶ Un hogar se considera que es una vivienda habitada.
- ▶ Se realiza la aproximación de que los consumos energéticos en el sector residencial se realizan únicamente en las viviendas habitadas (lo que se ha denominado, hogares). Es decir, para consumos energéticos no se tienen en cuenta los efectos de las viviendas no ocupadas.

La proyección del número de hogares se realiza sobre la base de las proyecciones de población anteriores, empleando la ratio de ocupación de personas por vivienda del INE, y asumiendo un ligero ascenso en el futuro.

La siguiente figura contiene la proyección del número de hogares que se han considerado para el ejercicio de proyecciones a futuro.

FIGURA E.3 Proyección del número de hogares



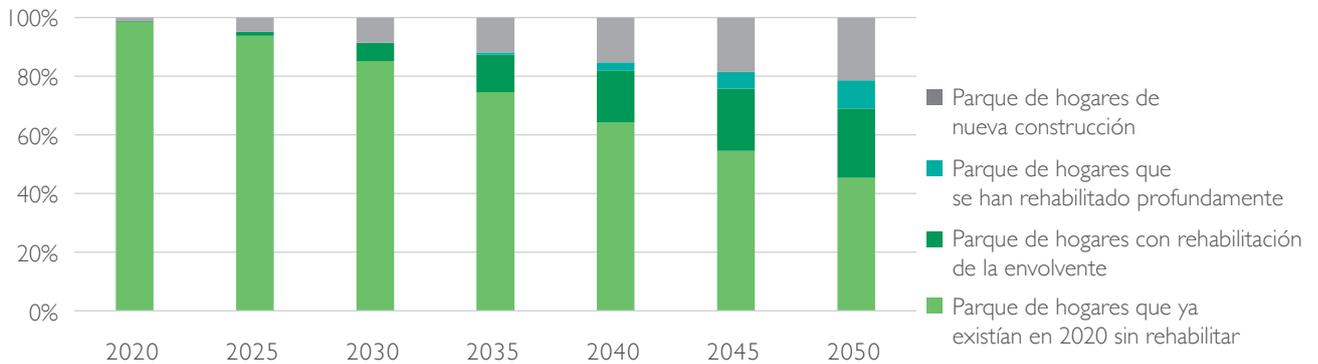
Fuente: Comisión Europea, Instituto Nacional de Estadística

Señalar que el número de viviendas comprende las viviendas rehabilitadas, las nuevas y las existentes, asumiendo diferentes hipótesis para el Escenario Tendencial y para el Escenario de Neutralidad Climática.

En la Figura E. 4 se puede ver un reparto de los hogares en los distintos años analizados con base en la siguiente descripción:

- ▶ **Parque de hogares que ya existían en 2020:** los hogares que ya estaban construidos en 2020 y que continúan en uso en los años de estudio.
- ▶ **Parque de hogares con rehabilitación de la envolvente:** proporción de los hogares existentes en los que se ha llevado a cabo una mejora de su eficiencia energética.
- ▶ **Parque de hogares que se han rehabilitado profundamente:** hogares que han sufrido una reforma lo suficientemente profunda como para ser considerados similares a una vivienda nueva, en relación al cumplimiento de la normativa de construcción vigente en el momento de la rehabilitación.
- ▶ **Parque de hogares de nueva construcción:** hogares que se han construido bajo los estándares de la nueva normativa de construcción.

FIGURA E.4 Distribución del parque total de viviendas por tipología en el Escenario de Neutralidad Climática



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y MITMA

E.4.3 Precios internacionales de combustibles fósiles y costes de derechos de emisión

El sistema energético español se inscribe dentro de las tendencias y los mercados energéticos globales, por lo que los valores de las variables de partida considerados han sido los recomendados por la Comisión Europea en el marco de la realización de los Planes Nacionales de Energía y Clima.

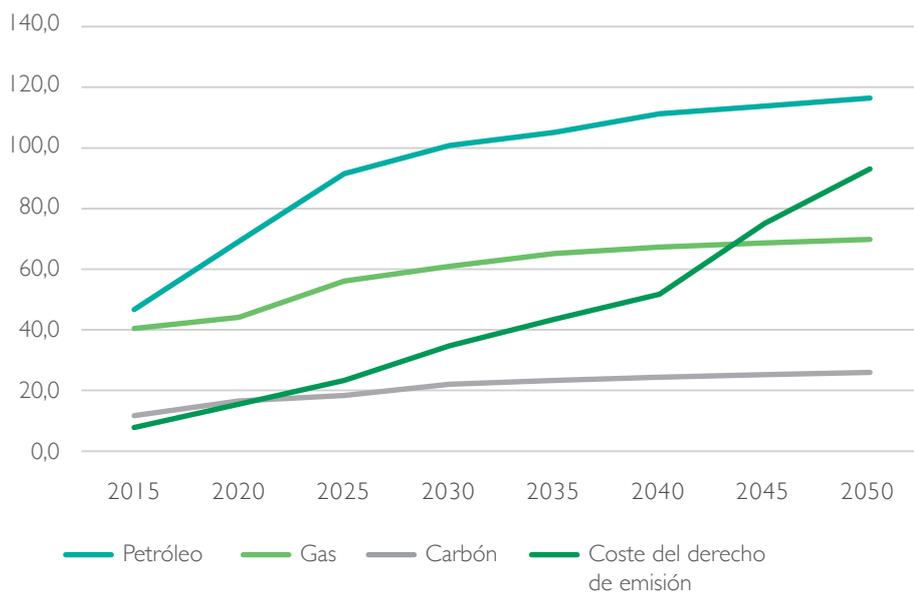
No obstante, estos datos solo llegan hasta el año 2040. Por lo que ha sido necesario estimar la evolución una vez que se termina dicha serie. Para realizar esto, se ha empleado la evolución de los precios de estos combustibles para la década 2040-2050 que el Joint Research Centre consideró en marzo de 2018 para la inclusión en su modelo de POTEnCIA⁹⁹ en el periodo 1980-2050¹⁰⁰.

Por su parte en el caso de la evolución de precios de los combustibles, ha sido necesario completar la serie hasta el año 2050, en este caso, se han empleado los valores incluidos en el *EU Reference Scenario 2016*.

Es necesario considerar que el valor del coste del derecho de emisión es exógeno al modelo. Es decir, que se introduce como un dato que el modelo emplea para obtener sus resultados.

A continuación, se presentan los valores utilizados hasta el año 2050.

FIGURA E.5 Precios internacionales de los combustibles fósiles (€/ barril equivalente de petróleo) y coste del derecho de emisión (€/ tCO₂)



Fuente: MITECO a partir de datos de la Comisión Europea y del JRC

⁹⁹ <https://ec.europa.eu/jrc/en/potencia>

¹⁰⁰ El archivo que contiene estos datos tiene por título: "International Fuel Prices data/assumptions 1980-2050" y fue remitido por la Comisión Europea en el marco de los trabajos para la obtención del modelo energético POTEnCIA y su base de datos IDEES.

E.4.4 Evolución de los costes tecnológicos

El modelo analítico utilizado para la proyección del sistema energético, TIMES-Sinergia, es de tipo bottom-up, por lo que los costes de las distintas tecnologías energéticas resultan un dato de entrada fundamental para realizar una proyección adecuada de las distintas variables de salida del modelo.

Para garantizar la coherencia de los precios relativos entre las distintas tecnologías, se han tomado preferentemente los datos proporcionados por el JRC de la Comisión Europea en el modelo POTEnCIA. Para todos aquellos datos no disponibles, se ha recurrido a fuentes internacionales comúnmente aceptadas, en su caso adaptando los valores a la tipología habitual en el sistema energético español.

Es necesario señalar que en mayor medida que en el ejercicio del PNIEC 2021-2030, en un escenario con proyecciones a 2050 las incertidumbres son mucho mayores. No solo en cuanto a los costes de las tecnologías, los combustibles, o cualquier otro dato a emplear; si no también desde la perspectiva de cuándo una tecnología se considerará viable técnica y económicamente. Por lo tanto, el ejercicio realizado en la ELP (que abarca hasta el año 2050) incluye intrínsecamente una incertidumbre mucho mayor que la incluida en el ejercicio del PNIEC con un horizonte temporal hasta el año 2030.

E.4.5 Desarrollo tecnológico para la descarbonización

En el ejercicio analítico realizado para determinar los escenarios conducentes a la descarbonización del sistema energético, se han incluido algunas tecnologías necesarias para acometer el objetivo de neutralidad climática. Estas tecnologías se utilizan en aquellos sectores en los que actualmente no existe ninguna vía tecnológica para llevar a cabo una ruta productiva totalmente descarbonizada. En estos casos, se ha consultado la literatura para evaluar las posibilidades tecnológicas sectoriales que han sido descritas de manera específica en el capítulo 4 de este documento.

Aunque algunas de las soluciones tecnológicas actualmente se utilizan en determinados sectores, en la mayoría de los casos su implementación no está desarrollada a gran escala, sino que se limita a desarrollos concretos. En algunos casos, estas soluciones tecnológicas actualmente están en fase de investigación o en las primeras implantaciones.

Los procesos tecnológicos no incluidos en escenario sin tecnologías disruptivas son la captura, almacenamiento y uso de CO₂, la utilización de hidrógeno en los sectores industrial y transporte, la fabricación de combustibles sintéticos y biocombustibles avanzados procedentes de biomasa, y el uso de rutas descarbonizadas para la producción de acero.

En el Escenario de Neutralidad Climática se han implementado las siguientes tecnologías o soluciones, que responden a la descripción realizada. La información incluida hay que interpretarla como una guía para enfocar los esfuerzos investigadores y de desarrollo hacia los problemas que resuelven estas tecnologías, es decir, los principales retos a la hora de descarbonizar la economía.

- ▶ **Producción de acero descarbonizada.** Se emplean métodos de ahorro de emisiones en el sector del acero mediante un cambio en el proceso de fabricación. Las rutas de producción que aparecen en la literatura, reducen tanto las emisiones de combustión como las de procesos de estas tecnologías.
- ▶ **Otros sectores industriales emisores.** La captura, el almacenamiento y el uso de carbono también tienen un papel importante en el desarrollo de la solución de descarbonización planteada. El mejor ejemplo de un sector en el cual se necesita el uso de estas tecnologías es el del cemento y, en menor medida, el sector petroquímico. Se ha empleado esta tecnología en aquellos casos en los que no existiese otras soluciones más eficientes desde un punto de vista tecno-económico.

ANEXO E. ESCENARIO PROPUESTO PARA LA NEUTRALIDAD CLIMÁTICA

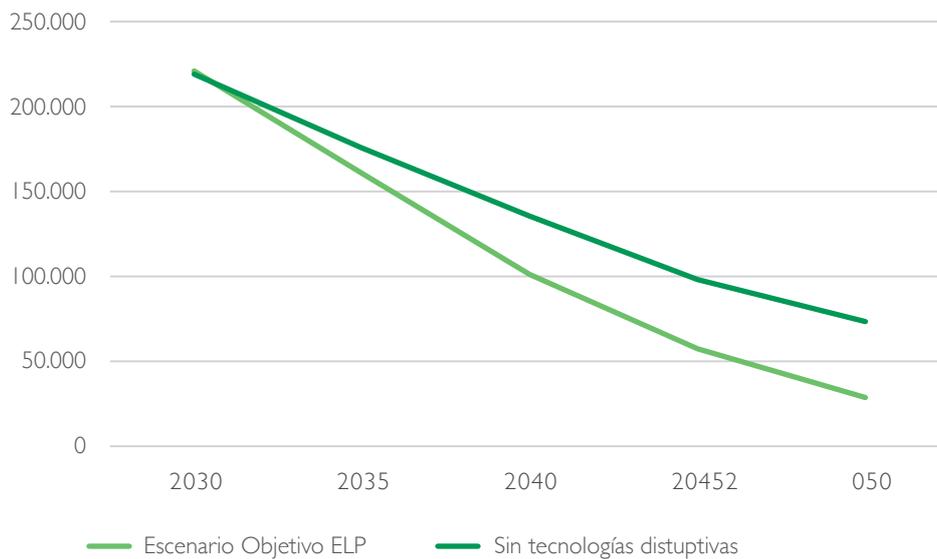
- ▶ **Movilidad eléctrica.** Para el cumplimiento del objetivo de descarbonización propuesto para el año 2050, es necesario el desarrollo de una amplia producción de hidrógeno verde, es decir, mediante energía eléctrica renovable. Este hidrógeno renovable tiene su aplicación, tanto en los procesos industriales como en el transporte.
- ▶ **Producción, almacenamiento y uso del hidrógeno renovable.** La importancia del cambio del combustible en el sector del transporte es elevada. Por lo tanto, el éxito de la descarbonización de este sector depende de la correcta implementación de las políticas encaminadas a la impulsión del vehículo eléctrico, junto con otros combustibles alternativos.

En este caso, no es una tecnología que esté en desarrollo, dado que ya hay multitud de vehículos comerciales que se mueven con electricidad. Pero requeriría de una gran expansión durante las dos próximas décadas, para poder implementarse en el caso del transporte pesado.

A continuación, se presenta gráficamente el efecto en la mitigación de las tecnologías disruptivas, es decir, pendientes de desarrollo en escala comercial, en el Escenario ELP, añadiendo un escenario en el que no se incluyen estas tecnologías disruptivas, y, por tanto, mostrando el efecto en términos de mitigación de emisiones. La brecha de mitigación existente para alcanzar la neutralidad climática con la ausencia de estas tecnologías en el año 2050 se sitúa en torno a los 45 millones de toneladas equivalentes de CO₂.

Los procesos tecnológicos no incluidos en escenario sin tecnologías disruptivas son la captura, almacenamiento y uso de CO₂, la utilización de hidrógeno en los sectores industrial y transporte, la fabricación de combustibles sintéticos y biocombustibles avanzados procedentes de biomasa y el uso de rutas descarbonizadas para la producción de acero.

FIGURA E.6 Emisiones en escenario sin tecnologías disruptivas (ktCO₂eq)



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

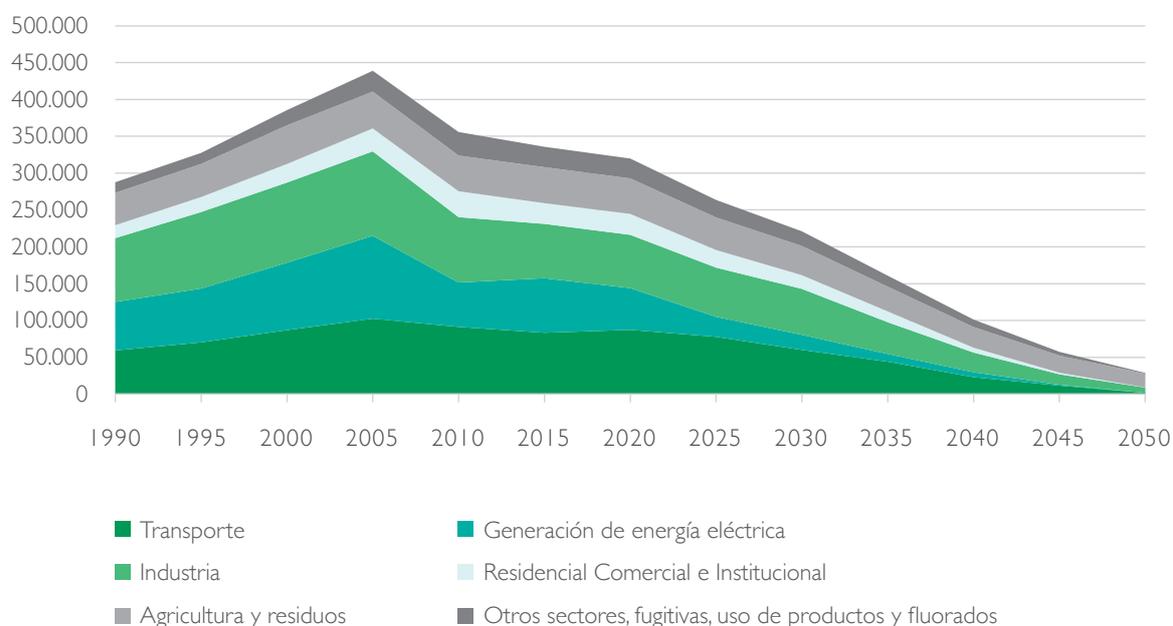
E.5 ESCENARIO DE NEUTRALIDAD CLIMÁTICA

E.5.1 Proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

Tal y como se ha comentado previamente en este documento, el objetivo central de la ELP es alcanzar la neutralidad climática para el año 2050. En esa dirección se cuenta con reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2050 al menos un 90% respecto al año 1990. El resto de emisiones se compensarán por la acción de los sumideros naturales de carbono. El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 plantea una reducción de las emisiones GEI en el año 2030 del 23% respecto al año 1990. El PNIEC es por tanto el primer paso, y por la cercanía en el tiempo, el más importante en la senda de reducción de emisiones que culmina en el año 2050.

En el presente apartado, se exponen los resultados de la modelización en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y su proyección hasta el año 2050. Primero se muestra la evolución gráfica de las mismas para el conjunto de España desde 1990 hasta 2050. A continuación, se detallan las emisiones estimadas por cada uno de los sectores para el conjunto del periodo analizado¹⁰¹.

FIGURA E.7 Evolución de las emisiones GEI por sector desde 1990 hasta 2050 (ktCO₂eq)



Fuente: *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020*

¹⁰¹ Señalar que las emisiones correspondientes a los años anteriores a la fecha de publicación de este documento se han empleado los datos históricos del Sistema Español de Inventario y Proyecciones dependiente del MITECO. La estimación de los datos proyectados a 2050 la ha realizado la misma unidad junto con la Oficina Española de Cambio Climático, con información suministrada desde otras áreas del Ministerio.

TABLA E.1 Proyección de emisiones totales en el Escenario ELP

| Proyección de emisiones en el escenario ELP (Unidades: millones de toneladas de CO ₂ equivalente) | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Año | 1990 | 2005 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
| Transporte | 59 | 102 | 83 | 87 | 78 | 60 | 44 | 23 | 11 | 2 |
| Generación de energía eléctrica | 66 | 113 | 74 | 57 | 27 | 21 | 11 | 7 | 1 | 0 |
| Industria | 87 | 115 | 74 | 72 | 67 | 62 | 43 | 27 | 14 | 7 |
| Residencial Comercial e Institucional | 18 | 31 | 28 | 28 | 24 | 19 | 15 | 7 | 2 | 0 |
| Agricultura y residuos | 44 | 50 | 49 | 48 | 44 | 40 | 34 | 28 | 23 | 19 |
| Otros sectores, fugitivas, uso de productos y fluorados | 14 | 28 | 28 | 27 | 24 | 20 | 15 | 10 | 5 | 1 |

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica, 2020

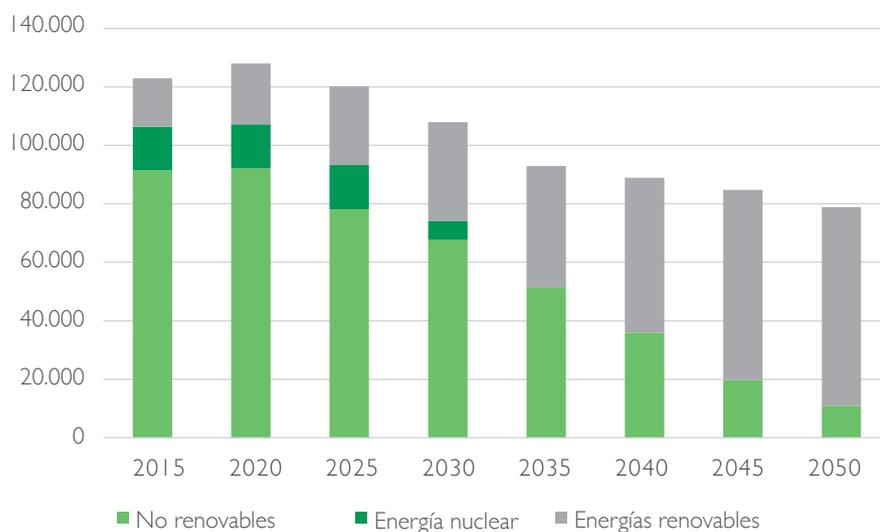
Tal y como se puede ver en la tabla anterior, todos los sectores realizan un esfuerzo muy importante en la reducción de emisiones. Las más costosas de eliminar, son las relacionadas con los sectores de agropecuario y residuos y el sector industrial.

Por otro lado, se puede observar la descarbonización prácticamente plena de sectores como el de generación de energía eléctrica, residencial, comercial e institucional y otros sectores.

E.5.2 Energía primaria

La Figura E. 8 contiene el consumo de energía primaria agregada para el Escenario de Neutralidad Climática.

FIGURA E.8 Consumo primario de energía incluyendo usos no energéticos en el Escenario ELP (ktep)



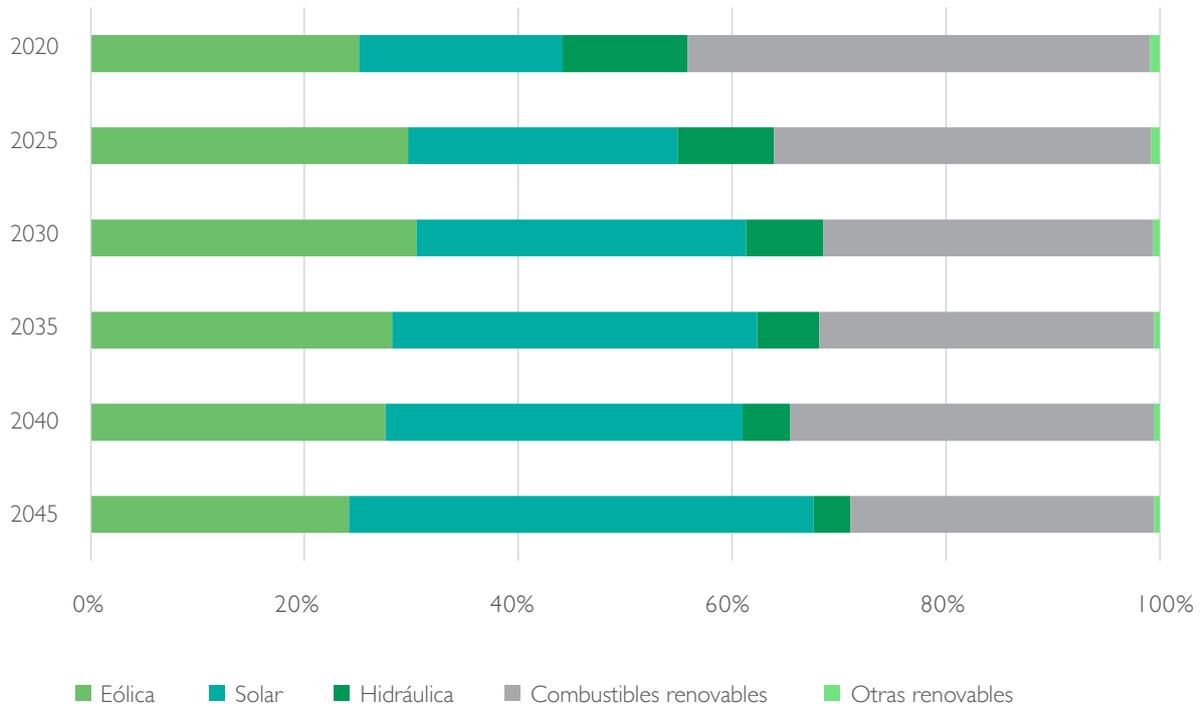
Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

Como se puede ver en las figuras anteriores, el consumo de energía primaria tiene una tendencia decreciente. Esto se debe al despliegue de las renovables, políticas de eficiencia energética, economía circular y cambios de comportamiento que se incluyen en el Escenario ELP y que se comentan en el presente documento.

El consumo de productos petrolíferos y de gas natural tiene una presencia residual en el Escenario de Neutralidad Climática, ya que han sido sustituidos sobre todo por energías renovables y eficiencia energética. La economía circular y los cambios de comportamiento contribuyen también en esa dirección. En siguientes apartados se podrá visualizar el impacto de estas políticas sobre la intensidad energética.

Dada la acentuada contribución de las energías renovables en el consumo primario de energía, se presenta a continuación su evolución detallada.

FIGURA E.9 Evolución de la contribución renovable en el consumo de energía primaria en el Escenario ELP

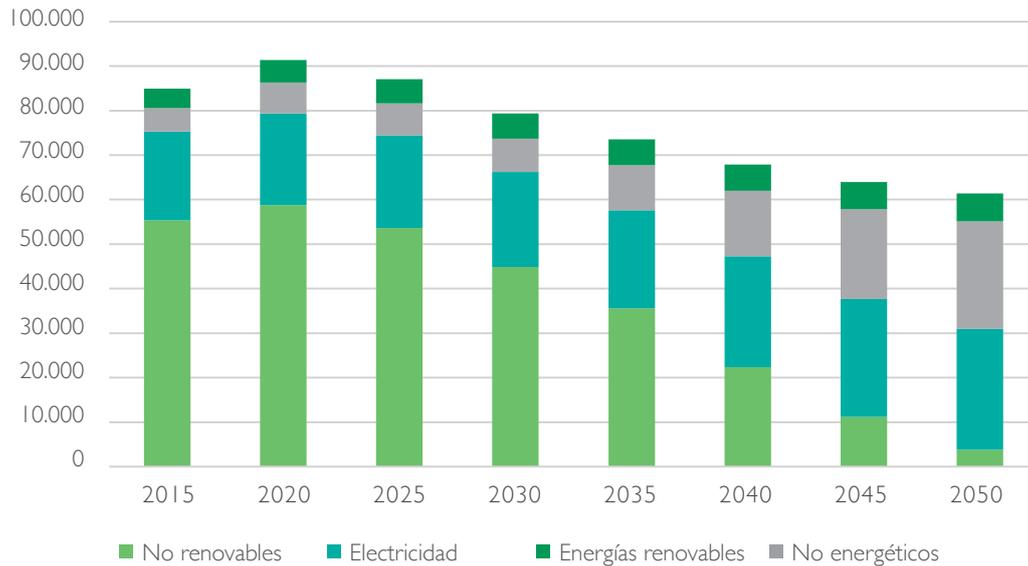


Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

E.5.3 Energía final

La Figura E. 10 contiene el consumo de energía final agregada para todos los sectores para el Escenario de Neutralidad Climática. A continuación, se realiza un análisis sectorial de los consumos de energía final.

FIGURA E.10 Consumo final de energía incluyendo usos no energéticos en el Escenario ELP (ktep)

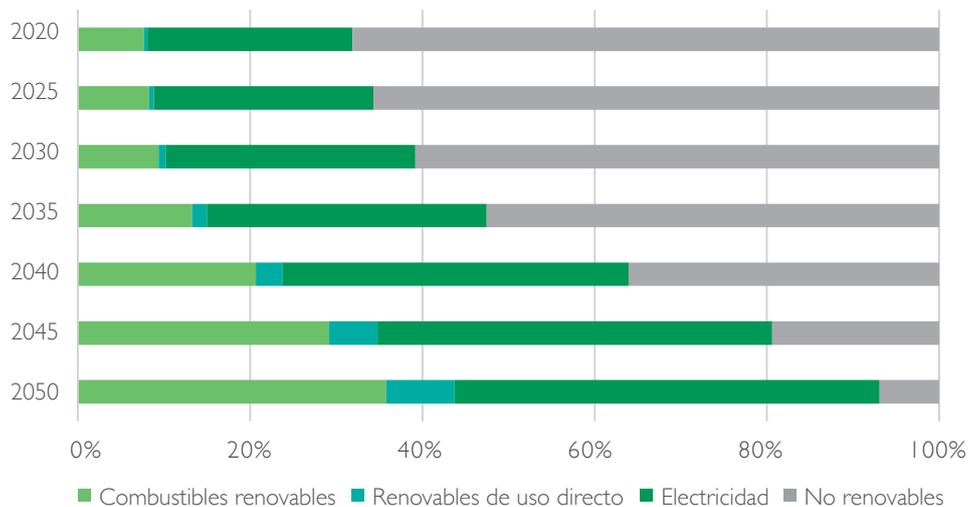


Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

Tal y como se puede ver en la figura anterior, la energía final presenta los mismos efectos que se aprecian en la evolución de la energía primaria del apartado anterior. En el Escenario ELP no hay prácticamente consumo de combustibles fósiles habiéndose sustituido estos por energía eléctrica y energías renovables.

En la desagregación de energía final en el año 2050 cabe destacar la evolución de la composición de la aportación renovable, que se detalla en la Figura E. 11.

FIGURA E.11 Evolución de la contribución renovable en el consumo de energía final en el Escenario ELP. Sin incluir los usos no energéticos.

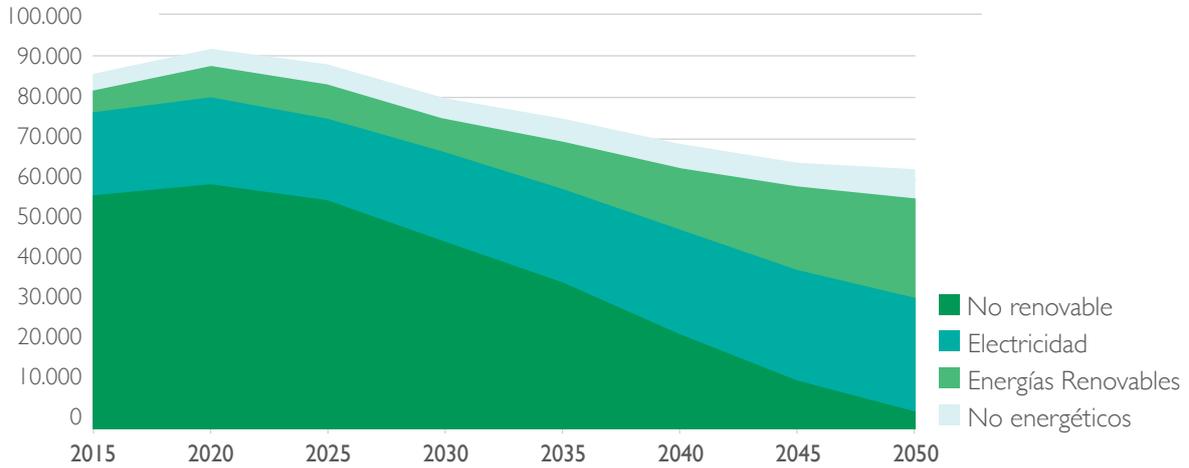


Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

Desagregación sectorial

A continuación, se presenta la evolución de las fuentes energéticas utilizadas para cada uno de los sectores de la economía. Estas gráficas permiten analizar la paulatina penetración de las energías renovables. Se muestra el detalle de cada tipo de renovable, junto con la suma de otras fuentes no renovables. Adicionalmente, se representa la electricidad consumida por cada sector. En este último punto cabe destacar, que esa electricidad tiene un contenido renovable que evoluciona a lo largo del tiempo llegando a alcanzar el 100% en 2050.

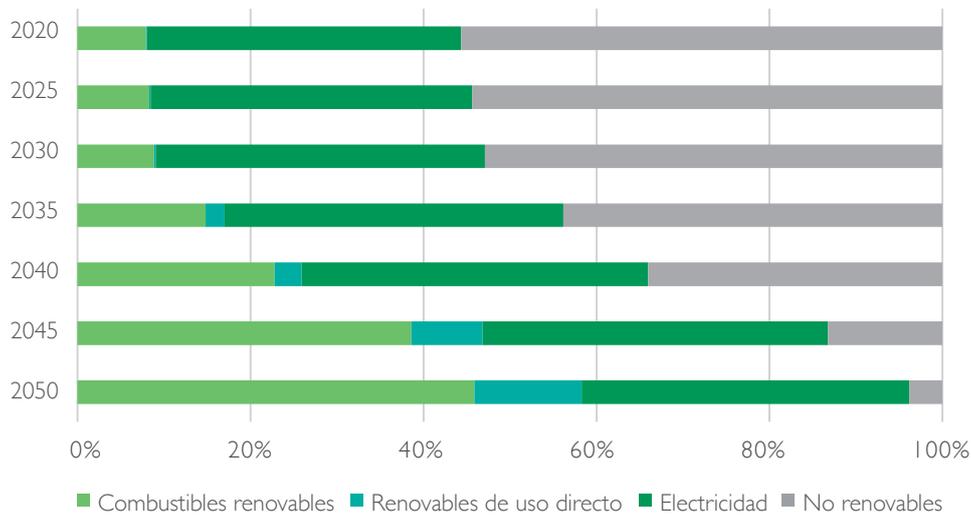
FIGURA E.12 Consumo de energía final sectorial en el Escenario ELP (ktep), incluidos consumos no energéticos



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

En el sector industrial, en la Figura E. 13, se puede apreciar que existe un remanente de fuente energética no renovable, correspondiente en este caso, a determinados sectores industriales que no son totalmente descarbonizables. La fuerte disminución de combustibles no renovables contribuye a la reducción de emisiones de GEI del sector industrial.

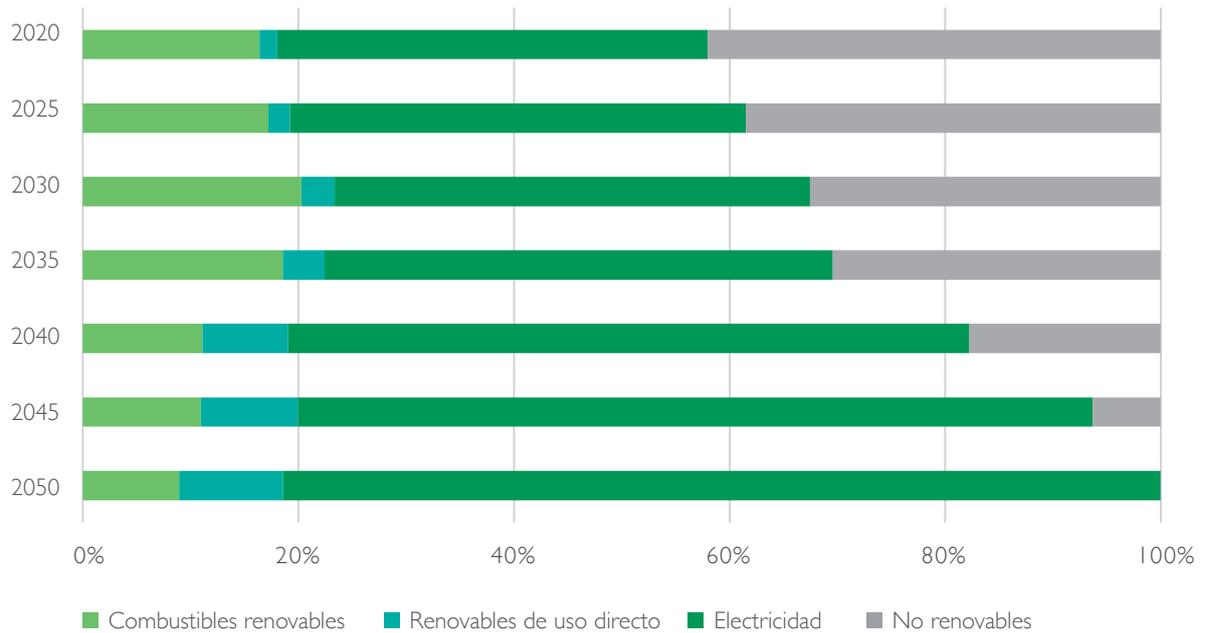
FIGURA E.13 Evolución de la contribución renovable en el sector industrial



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

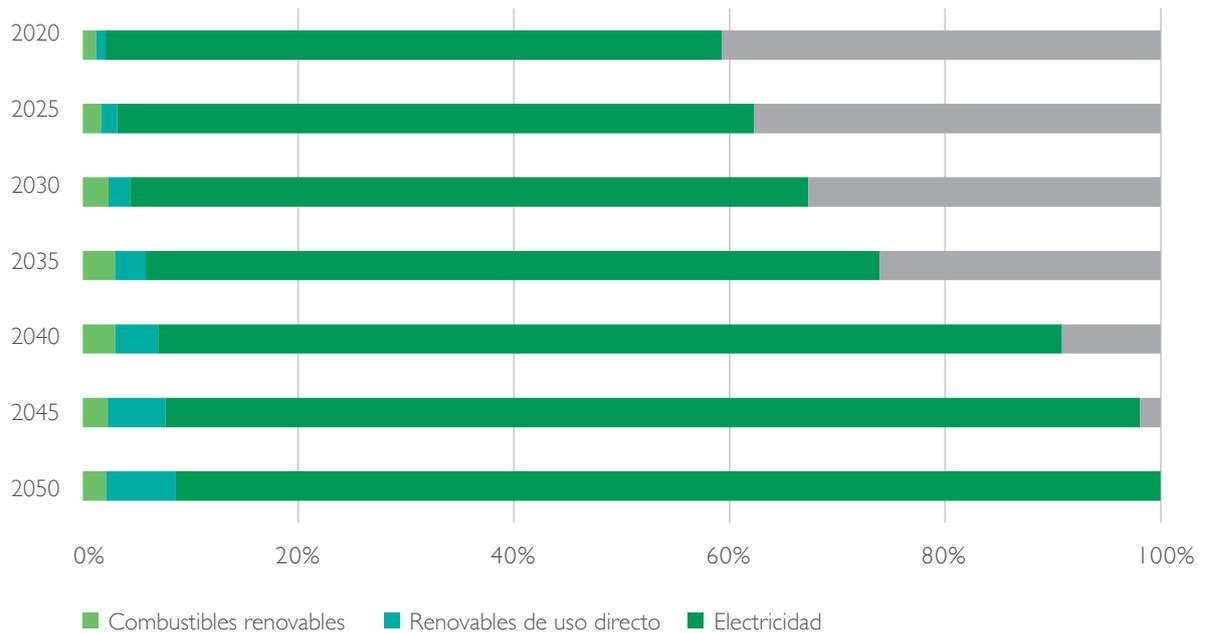
ANEXO E. ESCENARIO PROPUESTO PARA LA NEUTRALIDAD CLIMÁTICA

FIGURA E.14 Evolución de la contribución renovable en el sector residencial



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

FIGURA E.15 Evolución de la contribución renovable en el sector servicios

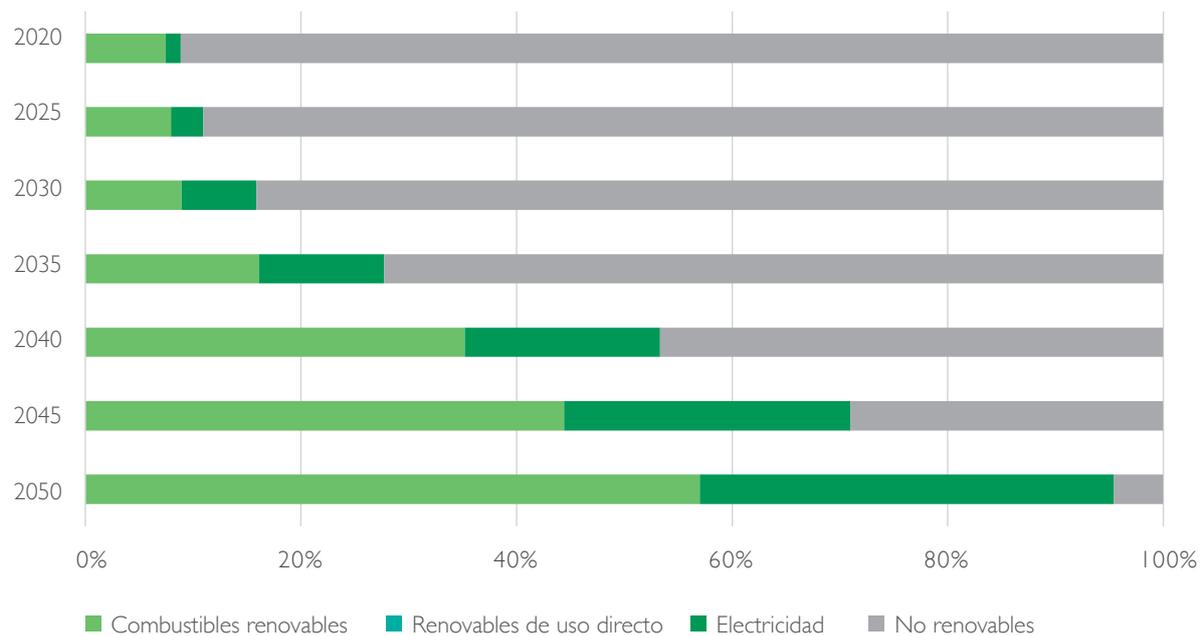


Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

■ No renovables

El sector transporte, Figura E. 16, presenta una contribución remanente de energías no renovables. Esto es debido fundamentalmente a la dificultad de sustituir el queroseno en aviación y a la de eliminar los combustibles fósiles en navegación y transporte pesado.

FIGURA E.16 Evolución de la contribución renovable en el sector transporte



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

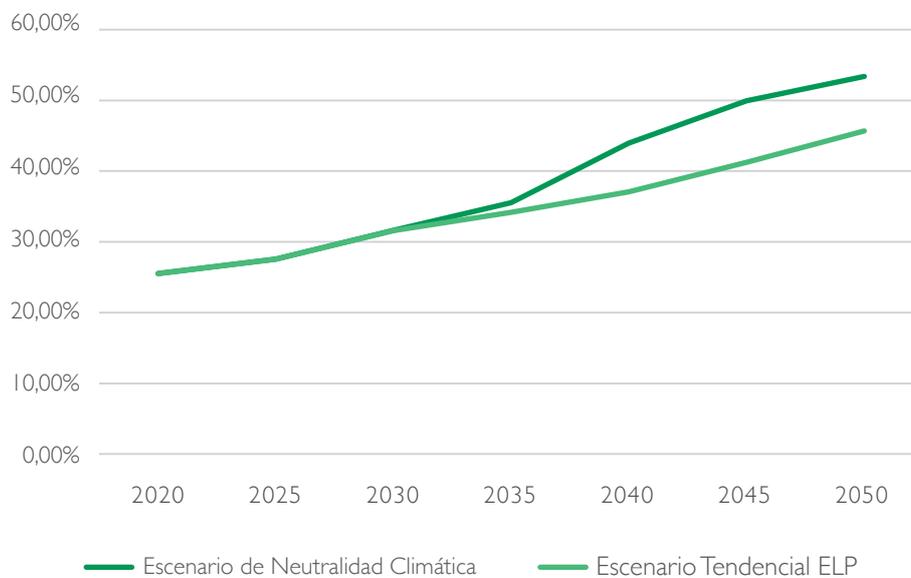
E.5.4 Energía eléctrica

El presente apartado presenta los resultados relacionados con la energía eléctrica. Tal y como se ha visto previamente, la eficiencia energética, el desarrollo de tecnologías bajas en carbono, los cambios de comportamiento, el aumento del consumo de energía procedente de fuentes renovables y la electrificación de la economía son las tres principales herramientas que se emplean en la descarbonización que se plantea a 2050.

En la Figura E. 17 se tienen los porcentajes de electrificación resultantes en ambos escenarios medidos sobre el consumo total de energía final. Como se puede ver, la diferencia en el año 2050 es de más de 10 puntos, alcanzando el Escenario de Neutralidad Climática más de un 50% de electrificación de la demanda final.

Para el cálculo de este porcentaje se ha empleado el consumo de energía eléctrica dividido entre el consumo final de energía sin tener en cuenta la aviación internacional, ni los consumos no energéticos.

FIGURA E.17 Porcentaje de electrificación de la demanda final en los escenarios estudiados

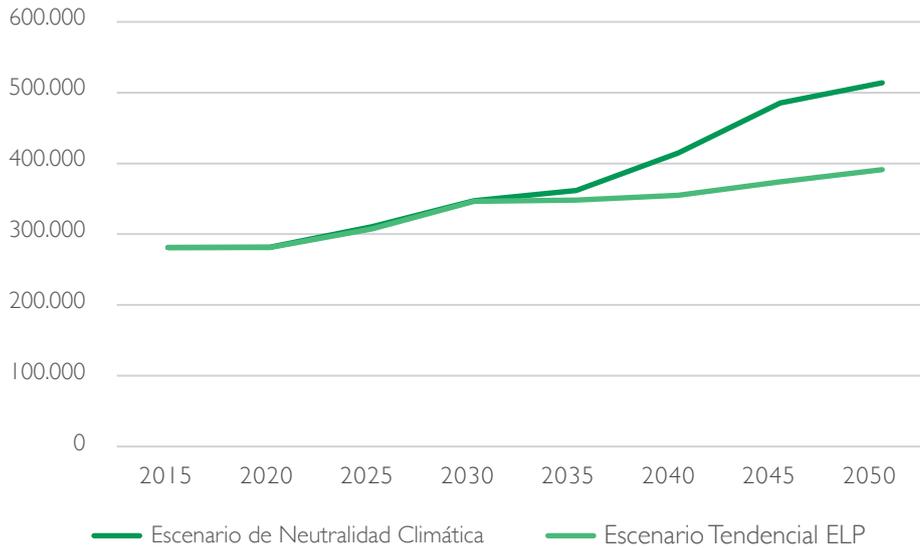


Fuente: *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020*

Producción y demanda de energía eléctrica

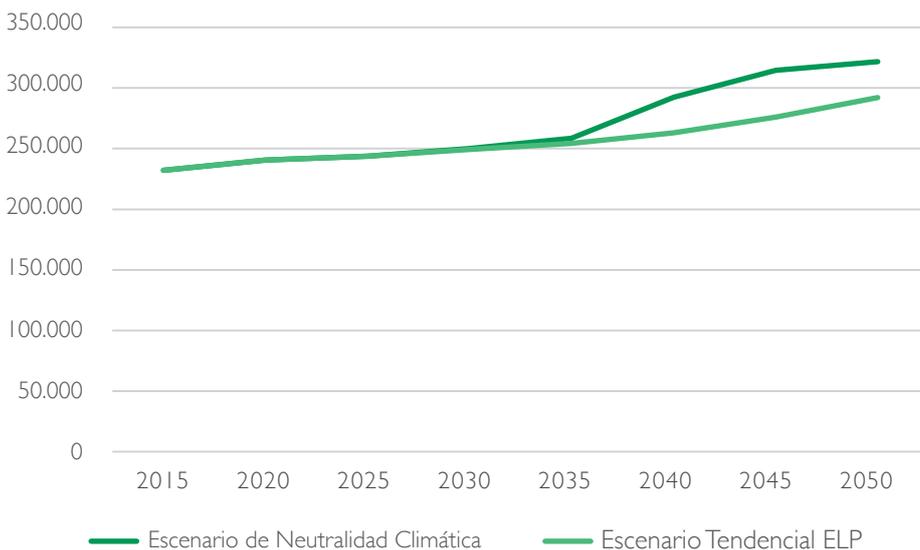
Las siguientes figuras contienen la evolución de la generación de energía eléctrica y la demanda final de electricidad para los escenarios Tendencial y de Neutralidad Climática a 2050.

FIGURA E.18 Generación de energía eléctrica (GWh) en los escenarios estudiados



Fuente: *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020*

FIGURA E.19 Demanda final de energía eléctrica (GWh) en los escenarios estudiados



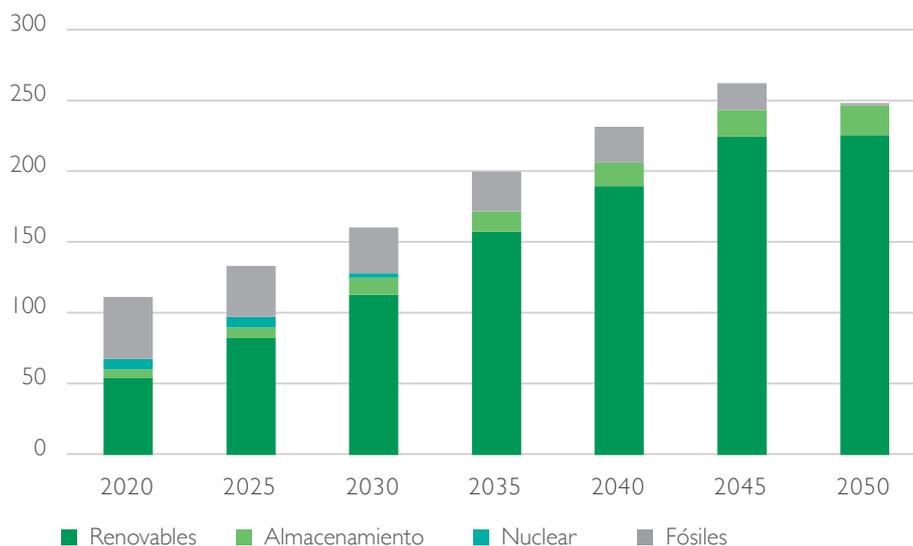
Fuente: *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020*

En ambos casos se puede ver como el Escenario de Neutralidad Climática presenta un incremento respecto al Tendencial. No obstante, la diferencia es menor en la demanda final de electricidad que en la generación bruta. Esto es debido a que en el Escenario ELP los consumos estimados para el sector de transformación de la energía son considerablemente superiores al del Escenario Tendencial. La causa principal es que la generación de combustibles sintéticos e hidrógeno, lleva asociado un elevado consumo eléctrico.

Parque de generación

La Figura E. 20 muestra la estimación del parque de generación necesario para satisfacer la demanda de generación de energía eléctrica. La evolución del sector alcanza un 100% de generación de energía eléctrica mediante fuentes de energías renovables en el año 2050 en el Escenario de Neutralidad Climática.

FIGURA E.20 Parque de generación de energía eléctrica en el Escenario ELP (GW)



Fuente: *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020*

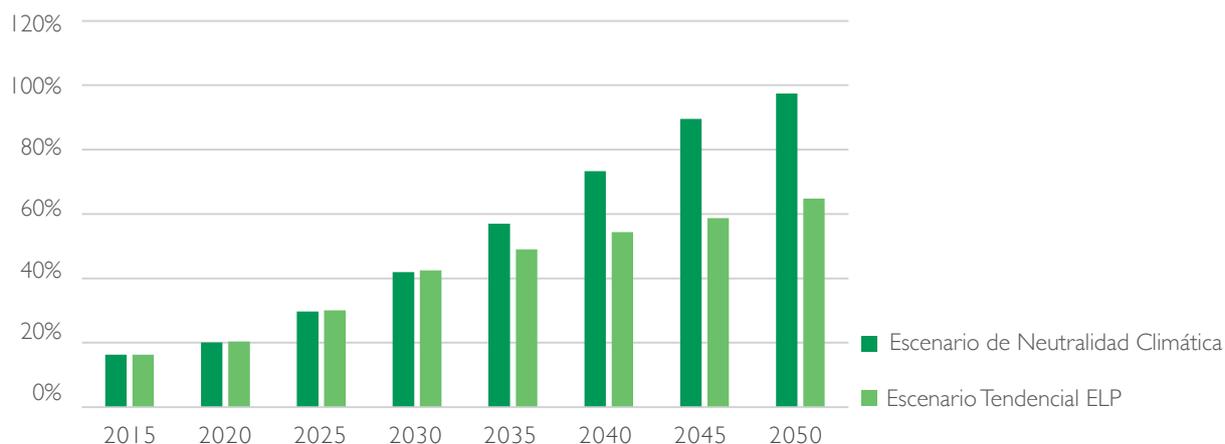
La potencia de almacenamiento de la figura anterior incluye tanto bombeos como almacenamientos intradiarios, sin contemplar otros almacenamientos de tipo estacional.

E.5.5 Energías renovables

Para alcanzar el objetivo de neutralidad climática es necesario que en el sistema energético la aportación de las energías renovables sea muy elevada. En el marco de la UE, la contribución de las energías renovables sobre el consumo final de energía es uno de los objetivos que miden el progreso de la transición energética. Para medir esta aportación, se utiliza la metodología establecida en la Directiva relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables, 2018/2001. En la Figura E. 21, se muestra la evolución de este porcentaje según los preceptos establecidos en la citada Directiva.

En el Escenario de Neutralidad Climática se incrementa la participación renovable hasta el 97%. Este incremento es un resultado derivado de para alcanzar la neutralidad climática, ya que las opciones de descarbonización sectorial suponen la reducción en casi su totalidad de combustibles fósiles, que serán sustituidos por fuentes renovables. Por su parte, en el Escenario Tendencial la contribución renovable ascendería al 64%.

FIGURA E.21 Porcentaje de energía renovable respecto al consumo final de energía

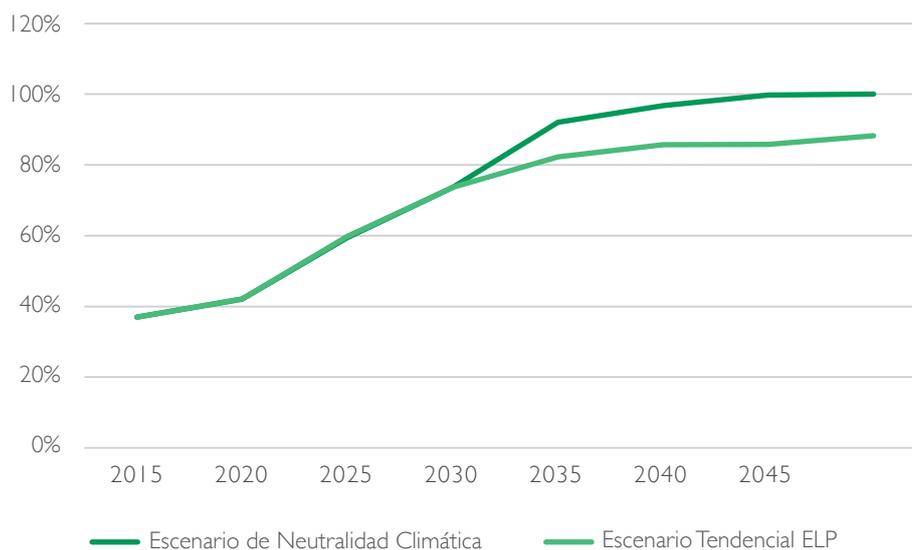


Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020v

Sector eléctrico

Las energías renovables cada vez tienen un mayor peso en la generación de energía eléctrica. Esta circunstancia se da tanto para el Escenario Tendencial como para el Objetivo. No obstante, en el Tendencial no se supera la barrera del 90% de participación, mientras que en el Escenario ELP se descarboniza completamente, tal y como se puede ver en la Figura E. 22.

FIGURA E.22 Porcentaje de energías renovables en el sector eléctrico



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020 2050

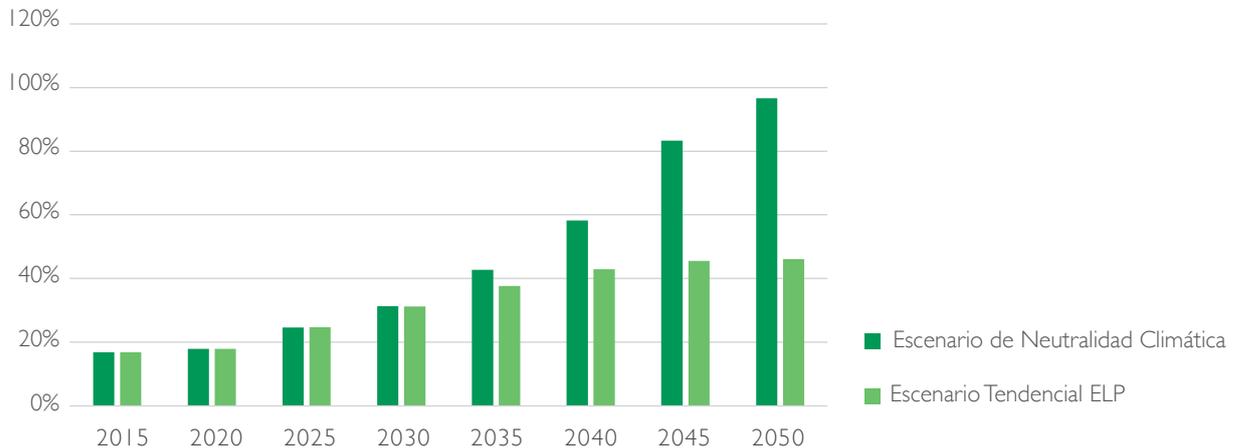
La ratio de ocupación de superficie de las distintas energías renovables con respecto a la superficie total nacional en 2050 se incrementa con respecto a 2030, aunque supone un valor inferior al 4,5% del total de la superficie de España. Debido a la presencia de instalaciones renovables de autoconsumo en cubiertas, el porcentaje real sobre superficie libre, será inferior a este porcentaje.

Frío y calor

La evolución del porcentaje de energías renovables en los sectores de frío y calor experimenta un fuerte aumento en el Escenario de Neutralidad Climática, alcanzando el 97%. Este acentuado incremento de la contribución renovable es debido a la aportación de las bombas de calor, especialmente en los sectores residencial y servicios, pero también en industria en calor de baja temperatura, así como el aporte de la biomasa, el hidrógeno y la energía solar.

Por su parte, en el Escenario Tendencial, el porcentaje renovable cubre cerca de la mitad de la demanda de calor y frío, situándose en un 46%.

FIGURA E.23 Porcentaje de renovables en frío y calor



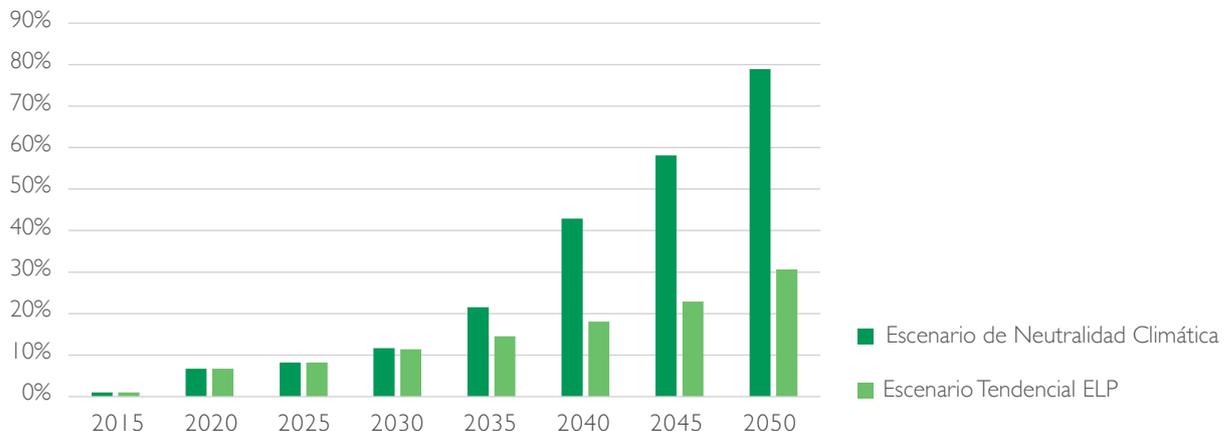
Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

Transporte

En el análisis sectorial de la contribución renovable, el sector transporte experimenta una fuerte contribución de la fracción renovable, en el Escenario de Neutralidad Climática, alcanzando un 79% en el año 2050. Dentro del sector transporte la parte no renovable corresponde a la parte de aviación que sigue utilizando queroseno convencional, así como parte del transporte marítimo y una pequeña fracción del transporte de mercancías por carretera, que utilizan combustibles fósiles.

De no implementarse la ELP, el porcentaje de renovables en el sector transporte tan solo llegaría al 31% de la energía consumida en este sector:

FIGURA E.24 Porcentaje de renovables en el transporte



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

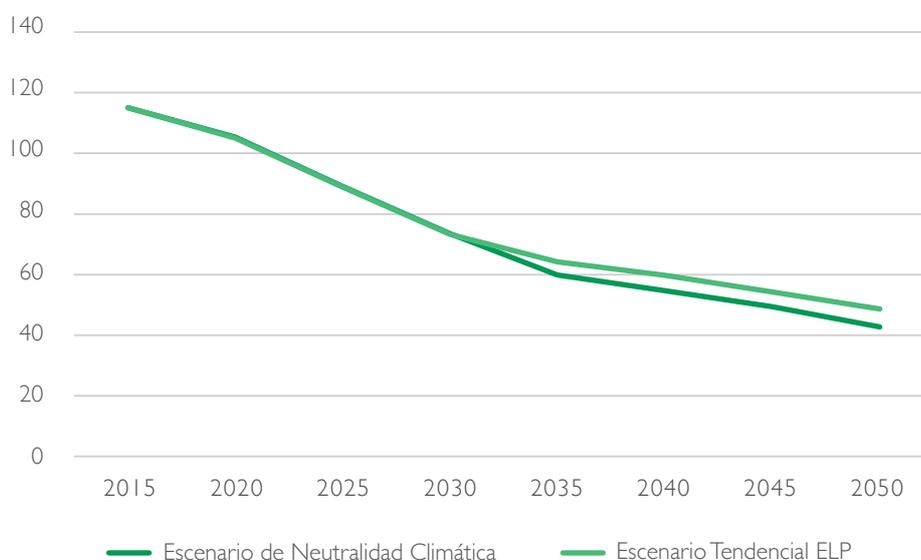
E.5.6 Eficiencia energética

Tal y como se ha visto a lo largo del documento, la eficiencia energética es un pilar fundamental para el desarrollo de la estrategia de descarbonización con horizonte 2050.

Respecto a la evolución del consumo de energía primaria, las principales conclusiones son la reducción del consumo de energía por medidas de eficiencia energética y cambio de comportamiento, medidas de electrificación y medidas de implementación de energías renovables.

En la Figura E. 25 se muestra la evolución del consumo de energía primaria para los dos escenarios estudiados. Se puede ver como en ambos casos, se alcanzan niveles de eficiencia de la economía en torno a un 60% superior a los que existen hoy en día. De hecho, en el Escenario de Neutralidad Climática se llega prácticamente a los 40 tep/M€, cuando el punto de partida del año 2015 se sitúa en los 115 tep/M€.

FIGURA E.25 Intensidad energética primaria (incluyendo usos no energéticos) en ambos escenarios (tep / M€ base 2016)



Fuente: *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020*

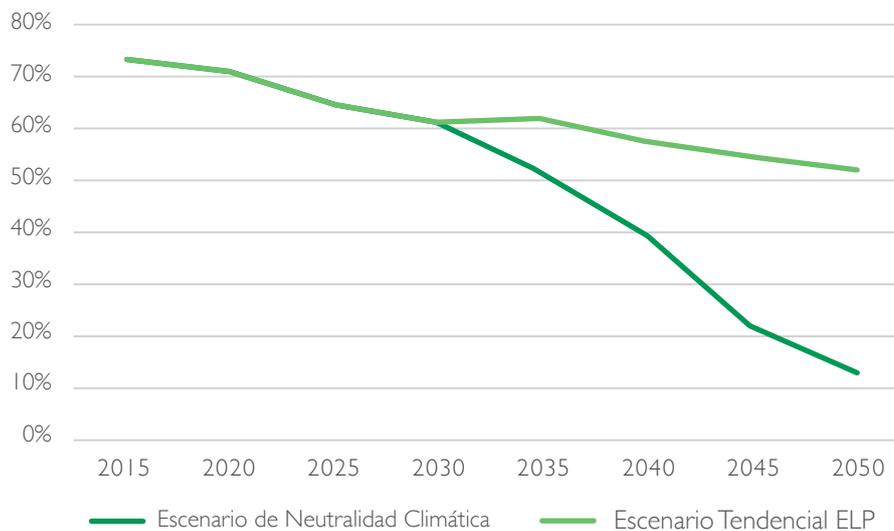
E.5.7 Electrificación de la economía

En el presente apartado se analizan los valores de electrificación en los diferentes sectores de la economía para ver el papel de la electricidad en la descarbonización. El Escenario de Neutralidad Climática alcanza un valor de electrificación que supera el 50% del consumo final de energía, superior al Escenario Tendencial. Los sectores que más contribuyen a esta electrificación son servicios y residencial. Por su parte, el sector servicios es el que más se electrifica en ambos escenarios, ya que dispone de una mayor facilidad para electrificar sus consumos energéticos mediante el uso de bombas de calor para climatización, por ejemplo. En el caso del sector residencial, el aumento de las rehabilitaciones, así como el uso generalizado de bombas de calor, facilitan la electrificación del mismo. Adicionalmente, el sector transporte presenta un incremento de la electrificación importante debido a la electrificación de la flota de vehículos privados, así como el mayor uso del tren. Para ver una evolución del porcentaje de electrificación de la economía, consultar la sección E.5.4. Energía eléctrica.

E.5.8 Seguridad energética

En lo que respecta a la seguridad energética, la reducción del consumo de energía, así como el aumento del consumo de energías renovables redundan en una mejora de la dependencia energética del exterior, que pasa de un 73% en el año 2015 a poco más del 10% en el año 2050. Ese porcentaje final de dependencia energética remanente se debe a los sectores más complicados de descarbonizar, entre los que se encuentran el sector de la aviación como principal exponente. Esta mejora en el suministro autóctono de energía no solo es positiva desde el punto de vista de la seguridad y la resiliencia frente a circunstancias internacionales desfavorables, sino que también es positiva en relación a la balanza comercial del país y los ahorros que puede proporcionar en todo el periodo analizado (ver capítulo 8).

FIGURA E.26 Dependencia energética del exterior de la economía española (%)



Fuente: *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020*

Seguridad de suministro eléctrico

Respecto a la seguridad de suministro de energía eléctrica, se han realizado distintos análisis por parte de Red Eléctrica de España para estimar si el sistema planteado es capaz de suministrar energía de una forma fiable y segura. El resultado es que el sistema es fiable y seguro tal cual está planteado. Para ello se han detectado necesidades de almacenamiento estacional en torno al 30% del almacenamiento de que se prevé disponer en el año 2050.

Hay que tener en cuenta que el escenario analizado se ha realizado con unas hipótesis restrictivas, que sitúan este resultado en el lado de la seguridad con un margen muy elevado. Se exponen a continuación las que se consideran de mayor influencia:

- ▶ La ausencia de interconexiones con terceros estados dado el desconocimiento sobre cómo evolucionarán estas infraestructuras en un plazo tan amplio. La existencia de estas interconexiones avanzadas reduciría o haría innecesaria la instalación de la potencia adicional de almacenamiento que se comenta en los párrafos anteriores.
- ▶ Se asume que el 5% de la demanda será gestionable. En un horizonte tan amplio se considera que es una hipótesis conservadora.

En conclusión, el Escenario de Neutralidad Climática planteado para el año 2050 es plenamente viable desde el punto de vista técnico y de la seguridad de suministro, contando con almacenamiento estacional.

ANEXO F

PROCESO
PARTICIPATIVO

ANEXO F. PROCESO PARTICIPATIVO

De conformidad con lo establecido en el artículo 26.2 de la Ley 50/1997, del 27 de noviembre, el 9 de abril del año 2019 se abrió la consulta pública sobre la “Estrategia a Largo Plazo para una Economía Moderna, Competitiva y Climáticamente Neutra en 2050” (en adelante Estrategia). La consulta duró hasta el 26 de abril y tuvo carácter previo a la elaboración del documento.

La mayoría de las aportaciones valoran positivamente el objetivo de convertir la economía española en una economía neutra en emisiones en 2050 (hay algunos agentes que piden que se adelante este objetivo a 2040) y el papel de liderazgo que está adoptando España en la lucha contra el cambio climático, destacando la oportunidad que supone para nuestra economía.

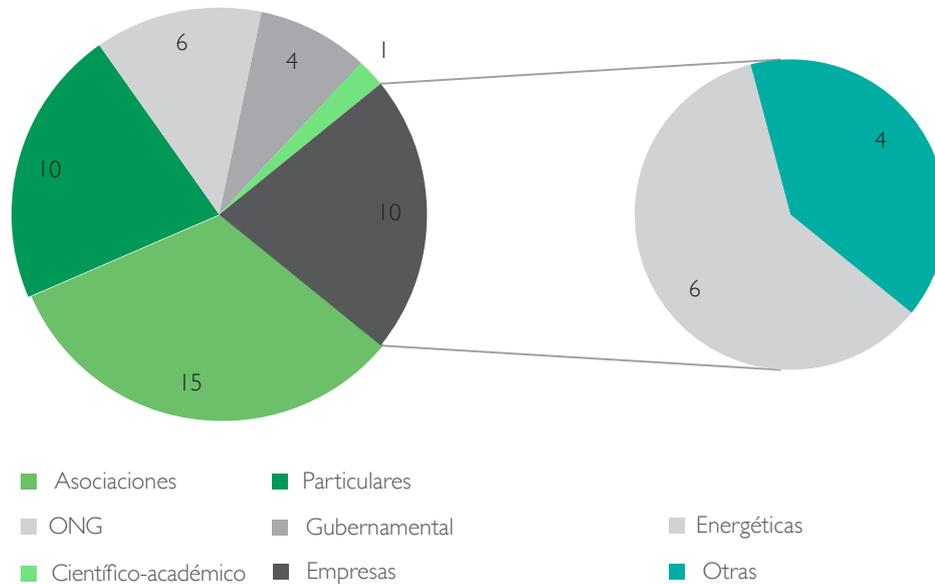
La elaboración de la Estrategia a largo plazo por parte de los Estados miembros es un requisito establecido en el Reglamento 2018/1999/UE del 11 de diciembre de 2018 sobre la Gobernanza del proyecto de la Unión de la Energía al objeto de que puedan contribuir al cumplimiento de sus compromisos en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Acuerdo de París. La Estrategia se ha de comunicar a la Comisión Europea a más tardar, el 31 de diciembre de 2019. En la consulta pública previa se han planteado las siguientes preguntas:

- 1) *En línea con lo que indica la ciencia, España debe ser un país climáticamente neutro a mediados de este siglo, por lo que se requiere reducir las emisiones totales de la economía de gases de efecto invernadero en al menos el 90% en 2050 respecto al año 1990 compensando mediante sumideros hasta la neutralidad las emisiones remanentes. ¿Cómo considera este esfuerzo en un contexto global?*
- 2) *¿Qué medidas y herramientas considera que deben recogerse en la Estrategia para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero?*
- 3) *¿Qué medidas y herramientas serán necesarias para promover los sumideros naturales de carbono?*
- 4) *El reto conlleva avanzar hacia modelos descarbonizados en nuestros principales sectores productivos y modelos de racionalización del consumo energético, lo que al tiempo supone una oportunidad para el impulso a la modernización de nuestra economía, el reparto equitativo de la riqueza y la generación de empleo en los nuevos nichos verdes. ¿En qué sectores de la economía considera que van a encontrarse los principales retos? ¿Cuáles serían sus indicaciones y sugerencias para solventar con éxito los mismos? ¿y las oportunidades? ¿cómo se podrían maximizar?*
- 5) *¿Qué considera especialmente relevante a la hora de implicar en este proceso de modernización, innovación y descarbonización a todas las administraciones públicas de nuestro país?*
- 6) *¿Cuáles son sus sugerencias para integrar en esta Estrategia medidas para la mejora de la calidad del aire en nuestras ciudades mejora, que conlleven a beneficios en la salud de las personas?, ¿De qué manera esta Estrategia a largo plazo puede contribuir a la transformación de los entornos urbanos para hacerlos más amables para las personas?*
- 7) *¿Cuáles serían sus sugerencias para que una mayoría social se implicase de manera proactiva en un compromiso con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero?*
- 8) *¿Qué papel han de desempeñar en este proceso de modernización, innovación y descarbonización de la economía las empresas y sus organizaciones patronales?, ¿Qué sugerencias haría para fomentar su implicación proactiva y su vocación de liderazgo económico en este cambio hacia una España climáticamente neutra?*
- 9) *¿Cuáles son los elementos esenciales en materia de adaptación que deberían ser introducidos en la Estrategia? ¿Qué sectores considera más críticos y que políticas y medidas debieran planificarse?*
- 10) *En caso de no poder contar con una Ley que permita afrontar el reto de la descarbonización ¿Qué otro tipo de soluciones, regulatorias o no regulatorias, cree que serían necesarias para asegurar el cumplimiento de los compromisos internacionales y europeos en materia de cambio climático y transición energética?*

Se han recogido un total de 47 comentarios (1 repetido) de diferentes agentes, agrupados de la siguiente manera: Asociaciones, Empresas, Particulares, ONG, Administraciones Centrales y Regionales y Científico-Académico. En el caso de las empresas, se ha diferenciado entre energéticas (eléctricas, petroleras y gasistas) y otras (agua, químicos, consultoría y tecnología) (ver Figura F. 1)

Casi todos los agentes que han participado en la consulta siguen el patrón propuesto de las diez preguntas. Algunos utilizan formatos diferentes. Otros, incluyen además de las respuestas, una introducción al comienzo de sus comentarios. En ocasiones se han realizado comentarios idénticos por remitente diferente.

FIGURA F.1 Clasificación de los agentes y detalle de las empresas



Los comentarios de las Asociaciones, Empresas, ONG y otras instituciones responden, por lo general, a todas las preguntas formuladas. Las que tienen que ver con los sumideros, el papel de las empresas y las patronales, y los elementos esenciales en materia de adaptación (preguntas 3, 8 y 9 respectivamente), son las que más se han dejado sin contestar:

Por su parte, las respuestas de los particulares muestran preocupaciones concretas y contestan, en la mayoría de los casos, solamente algunas de las preguntas.

F.I RESULTADOS

A continuación, se resumen las principales ideas de los comentarios realizados a la consulta pública realizada ex ante.

1) *En línea con lo que indica la ciencia, España debe ser un país climáticamente neutro a mediados de este siglo, por lo que se requiere reducir las emisiones totales de la economía de gases de efecto invernadero en al menos el 90% en 2050 respecto al año 1990 compensando mediante sumideros hasta la neutralidad las emisiones remanentes. ¿Cómo considera este esfuerzo en un contexto global?*

La mayoría de las aportaciones valoran positivamente el objetivo de convertir la economía española en una economía neutra en emisiones en 2050 (hay algunos agentes que piden que se adelante este objetivo a 2040) y el papel de liderazgo que está adoptando España en la lucha contra el cambio climático, destacando la oportunidad que supone para nuestra economía.

No obstante, algunas aportaciones destacan la necesidad de actuar de manera urgente con mecanismos y herramientas que garanticen una transición eficiente y neutra tecnológicamente. También se hace hincapié en que esta transformación ha de estar alineada con los esfuerzos a nivel europeo y a nivel global para garantizar la competitividad de las empresas nacionales (algunas asociaciones empresariales hablan de flexibilidad para alcanzar los objetivos).

2) *¿Qué medidas y herramientas considera que deben recogerse en la Estrategia para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero?*

La mayoría de los agentes coinciden en que tienen que estar orientadas hacia la electrificación de la economía (en especial las empresas cuyo negocio principal está relacionado con la electricidad), el ahorro y la eficiencia energética y el despliegue de las renovables en todos los sectores (algunas empresas y asociaciones del sector petrolífero incluyen la Captura y el Almacenamiento de Carbono entre sus medidas).

Para ello, insisten, es necesario distribuir los esfuerzos de descarbonización entre todos los sectores, internalizando correctamente los costes ambientales de manera que se sustituyan los impuestos recaudatorios por impuestos que graven las emisiones de CO₂ y el resto de emisiones contaminantes.

Además, algunos agentes comentan que sería conveniente llevar a cabo un análisis coste-beneficio de las medidas y políticas y que se establezcan objetivos cuantitativos y se monitoricen los logros conseguidos en los diferentes sectores.

También se hace hincapié en desarrollar medidas que mitiguen el impacto económico en los sectores más vulnerables o afectados por la transición energética, así como analizar los efectos económicos y sociales relacionados con el impacto en los precios de la energía.

Además, como medidas transversales para descarbonizar la economía se propone:

- ▶ Fijar un precio a las emisiones de CO₂ y al resto de contaminantes atmosféricos en todos los sectores, estableciendo un precio mínimo para la tonelada de CO₂.
- ▶ Garantizar un marco retributivo estable y mecanismos de financiación que contribuyan a la descarbonización como, por ejemplo, los bonos verdes.
- ▶ Homogenizar los impuestos ambientales entre todas las Comunidades Autónomas.
- ▶ Incentivar las nuevas tecnologías e inversiones que favorezcan la descarbonización de la economía y eliminar los incentivos a los combustibles fósiles.
- ▶ Reducir la presión fiscal empresarial en España.
- ▶ Tener en cuenta el ciclo de vida completo de las distintas tecnologías.

- ▶ Impulsar la coordinación entre administraciones autonómicas y locales.
- ▶ Incentivar la economía circular (se hace mención en varias ocasiones a la bioeconomía).
- ▶ Desarrollar “presupuestos de carbono” que establezcan la trayectoria de emisiones de la economía española asociada al cumplimiento de los objetivos climáticos.
- ▶ Fomento de la captura y secuestro y utilización del CO₂, al fomento de los biocombustibles y a la utilización del gas (el gas renovable y el gas natural vehicular) como vectores energéticos de transición.
- ▶ Apoyar la I+D+i.
- ▶ Establecer sistemas de revisión de los objetivos.
- ▶ Transversalidad y coherencia entre objetivos y medidas.
- ▶ Transparencia y consulta pública de las Administraciones.
- ▶ Dotar de herramientas que empoderen a las ciudades en el proceso de transformación.

En el sector eléctrico:

- ▶ Reformar el mercado eléctrico, de manera que se desarrolle una nueva estructura que proporcione a la generación eléctrica la estabilidad económica necesaria para acoger las inversiones.
- ▶ Reformar la tarifa eléctrica, eliminando costes ajenos al suministro y modernizando los peajes eléctricos que incentive el uso adecuado de la red, aumentando el peso del término variable frente al fijo.
- ▶ Fomentar el mix eléctrico renovable sin encarecer el coste de la energía.
- ▶ Establecer subastas por energía y un calendario de las mismas.
- ▶ Fomentar la contratación bilateral.
- ▶ Simplificar y agilizar los procesos administrativos con ventanilla única.
- ▶ Mantener la operación del bombeo en el mercado.
- ▶ Desarrollar el almacenamiento y el hidrógeno como vector energético.

En el sector industrial:

- ▶ Fomentar la electrificación.
- ▶ Medidas que impidan la fuga de carbono de la industria nacional hacia el exterior.

En el sector de la construcción:

- ▶ Utilizar materiales que reduzcan la huella de carbono.
- ▶ Modificar el Código Técnico de la Edificación para potenciar la construcción de edificios de consumo nulo o casi nulo.
- ▶ Medidas orientadas a la rehabilitación, restauración y regeneración de edificios.

En el sector transporte:

- ▶ Fomentar un cambio modal hacia el transporte por ferrocarril.
- ▶ Impulsar los vehículos cero emisiones de distinto tipo.
- ▶ Fomentar la instalación de puntos de recarga eléctricos (algunas empresas mencionan la obligación de instalar puntos de recarga eléctricos en todos los aparcamientos nuevos).
- ▶ Promover el transporte colectivo y los desplazamientos en bicicleta y a pie en entornos urbanos.
- ▶ Establecer zonas de bajas emisiones en las ciudades.
- ▶ Incremento gradual del impuesto al diésel.
- ▶ Excluir los vehículos de gas de esquemas de incentivos.
- ▶ Introducir impuestos sobre la aviación.
- ▶ Obligar a los proveedores de combustibles para la aviación de ofrecer combustibles bajos en carbono sostenibles, incluyendo combustibles sintéticos.
- ▶ Creación de un área de control de emisiones por barcos en el Mediterráneo y el Atlántico.
- ▶ Obligar el uso de barcos de cero emisiones para cortas distancias.

En el sector Residencial y Servicios:

- ▶ Fomentar la bomba de calor para climatización.
- ▶ Fomentar las renovables térmicas.
- ▶ Fomentar la renovación de equipos hacia electrodomésticos más eficientes energéticamente.
- ▶ Desarrollar redes de frío y calor.

En el sector agrario y ganadero:

- ▶ Fomentar los inhibidores de la nitrificación y de la ureasa.
- ▶ Fomentar la utilización de energías renovables.

En el sector residuos:

- ▶ Medidas que reduzcan los residuos agrícolas y ganaderos.
- ▶ Valorización de los residuos agroindustriales a través de la biometanización.
- ▶ Fomento de la dieta mediterránea.

Otras medidas relevantes:

- ▶ Considerar que el agua debe tener un papel protagonista en la Estrategia. Los objetivos para reducir las emisiones tienen que asegurar la disponibilidad del agua y la coherencia con los planes hidrológicos. Desarrollar planes de sequía.
- ▶ En el sector marítimo, fomentar políticas de descarbonización. Transformación de los productos de la pesca y marisqueo. Implementación del Fondo Europeo Marítimo y de la Pesca. Favorecer medidas como la disminución de la velocidad de los barcos, creación de nuevas rutas de transporte rápido o la creación de zonas de exclusión para buques por contaminación con nitrógeno y azufre.
- ▶ Medidas orientadas a la rehabilitación, restauración y regeneración de edificios.

3) *¿Qué medidas y herramientas serán necesarias para promover los sumideros naturales de carbono?*

Los bosques y entornos forestales desempeñan un papel fundamental en la descarbonización de la economía española. En este punto hay dos visiones diferentes, algunos agentes requieren que el esfuerzo de la transición se centre en la descarbonización de la economía, dejando las absorciones de los sumideros como algo residual. Los agentes del sector forestal, no obstante, reclaman desarrollar el potencial de los bosques como sumideros de carbono. Para ello proponen las siguientes medidas:

- ▶ Estudiar la adaptación de los bosques frente al cambio climático.
- ▶ Exigir certificados de gestión forestal sostenible.
- ▶ Contabilizar correctamente la contribución del sector.
- ▶ Aumentar la repoblación y la producción de madera.
- ▶ Capitalizar los bosques.
- ▶ Desarrollar la biomasa como energía primaria para los entornos rurales.
- ▶ Aumentar la producción de resina y corcho.
- ▶ Incentivar las actividades y servicios que promueven los sumideros y penalizar los que lo destruyan o debiliten.
- ▶ Protección de los sumideros acuáticos.

Además, otros agentes proponen:

- ▶ Proyectos de ingeniería geológica.
- ▶ Mejorar el acceso a la información sobre el potencial de las soluciones naturales en la mitigación y adaptación.
- ▶ Incluir la recarbonatación del hormigón como sumidero antropogénico.
- ▶ Valorizar los residuos agroindustriales a través de la biometanización.
- ▶ Valorar el uso de la lignina en la construcción.
- ▶ Desarrollar los sumideros artificiales de carbono por medio de la fiscalidad.
- ▶ Recuperar los humedales.
- ▶ Poner a disposición de las empresas herramientas y modelos de gestión que permitan internalizar todos los beneficios de la gestión forestal sostenible.
- ▶ Fomentar la colaboración público-privada para abordar las principales barreras.
- ▶ Planificar y coordinar con los objetivos de otras políticas.

- ▶ Incrementar la infraestructura verde, la construcción urbana sostenible, los sistemas de drenaje urbano y los parques inundables.
- ▶ Promover los árboles en zonas urbanas e incluir los sumideros en el planteamiento urbano.
- ▶ Impulsar medidas asociadas a la custodia del territorio.
- ▶ Impulsar los mercados del carbono. Fomento en el Registro Nacional de la inscripción de los sumideros de carbono.
- ▶ Involucrar al sector privado en la promoción de los sumideros naturales de carbono.
- ▶ Aplicar restricciones sobre la biomasa forestal que puede ser empleada para generar energía.
- ▶ Aumentar la producción de resina y corcho.
- ▶ Restaurar las zonas degradadas y no permitir la plantación de monocultivos forestales.
- ▶ Diseñar políticas transversales específicas destinadas a la conservación y recuperación de ciertos sumideros naturales.

4) El reto conlleva avanzar hacia modelos descarbonizados en nuestros principales sectores productivos y modelos de racionalización del consumo energético, lo que al tiempo supone una oportunidad para el impulso a la modernización de nuestra economía, el reparto equitativo de la riqueza y la generación de empleo en los nuevos nichos verdes. ¿En qué sectores de la economía considera que van a encontrarse los principales retos? ¿Cuáles serían sus indicaciones y sugerencias para solventar con éxito los mismos? ¿y las oportunidades? ¿cómo se podrían maximizar?

El reto de la transición energética reside en desarrollar una transformación paulatina y sostenible en sus cuatro vertientes: técnica, económica, medioambiental y social. El papel del consumidor es clave en este proceso, es necesario un cambio en los hábitos de la sociedad, desincentivando el derroche y consumo excesivo, orientando los modelos de vida hacia estilos más saludables.

Los **principales retos** según han señalado los diferentes agentes se encuentran en:

- ▶ El sector energético, cubriendo las necesidades de energía de manera eficiente, sostenible y manteniendo la seguridad de suministro.
- ▶ El sector transporte, descarbonizando el transporte de personas y de mercancías bajo los principios de neutralidad tecnológica y sin afectar a la competitividad industrial.
- ▶ El sector residencial, eliminando los combustibles fósiles.
- ▶ El sector industrial:
 - ▷ Descarbonizar los procesos altamente dependientes de combustibles fósiles.
 - ▷ Evitar estrategias que generen “lock in” y activos hundidos.
 - ▷ Evitar la deslocalización.
 - ▷ Garantizar precios energéticos asequibles para la industria.
 - ▷ Desarrollando el CCS.
- ▶ La generación eléctrica, construyendo una senda de penetración de renovables respetando la competitividad.
- ▶ El sector de la construcción y la edificación, en la rehabilitación de viviendas y en la eficiencia energética.
- ▶ El sector agrícola, por la falta de alimentos ante una creciente demanda.

- ▶ En el ciclo del agua, debido a la escasez acrecentada por el cambio climático y por el gran consumo energético que supone.
- ▶ En el turismo, por su aportación al PIB.

Y las **oportunidades:**

- ▶ En el sector energético, por la creación de empleo de calidad y su contribución al PIB.
- ▶ En el sector transporte, promoviendo los modos de transporte urbano alternativos y acelerando la sustitución de los vehículos de combustión interna (algunas empresas proponen la utilización de biocombustibles y/o biogás tanto en el transporte ligero como pesado).
- ▶ En el residencial, promoviendo la utilización de la bomba de calor y el ahorro y la eficiencia energética mediante beneficios fiscales.
- ▶ En el industrial, utilizando la biomasa en la producción de productos muy intensivos en energía. Creación de un tejido comercial fuerte y competitivo a nivel internacional.
- ▶ En generación eléctrica, facilitando el desarrollo del almacenamiento y la gestión de la demanda eliminando barreras regulatorias.
- ▶ En la construcción, promoviendo la construcción y rehabilitación de viviendas con consumos nulos o prácticamente nulos.
- ▶ En el sector agrícola, mejorando la eficiencia de los procesos en la agricultura y utilizando las energías renovables y la digitalización como palancas en la descarbonización.
- ▶ En generación eléctrica, facilitando el desarrollo del almacenamiento y la gestión de la demanda eliminando barreras regulatorias.
- ▶ En el ciclo del agua, mediante la creación de plantas depuradoras de vertido cero y suficiencia energética.
- ▶ En el turismo, orientando la oferta turística hacia la sostenibilidad, minimizando su impacto.

5) ¿Qué considera especialmente relevante a la hora de implicar en este proceso de modernización, innovación y descarbonización a todas las administraciones públicas de nuestro país?

La importancia reside en la definición de unos objetivos comunes a todas las administraciones. Se han de incluir planes sectoriales específicos de reducción de emisiones, y poner atención a los entornos rurales, donde es necesario desarrollar una transformación digital para crear condiciones de vida y trabajo atractivas.

Por otro lado, serán cada vez más importantes las colaboraciones público-privadas, de manera que se apoye a las empresas que tienen potencial de desarrollar soluciones para una economía y sociedad baja en carbono, eliminando incertidumbre en los procesos de toma de decisiones, tanto para las empresas como para los ciudadanos.

Varios comentarios proponen la creación de una Comisión Nacional de Cambio Climático y Transición Energética formada por expertos independientes, junto con un mecanismo de Gobernanza que supervise la ejecución de las medidas y el cumplimiento de los objetivos y revise periódicamente los objetivos de la Estrategia.

6) ¿Cuáles son sus sugerencias para integrar en esta Estrategia medidas para la mejora de la calidad del aire en nuestras ciudades, que conlleven a beneficios en la salud de las personas?, ¿De qué manera esta Estrategia a largo plazo puede contribuir a la transformación de los entornos urbanos para hacerlos más amables para las personas?

Mejorar la calidad del aire en las ciudades implica descarbonizar los consumos energéticos de los edificios y del transporte principalmente. Algunos comentarios señalan que las Directivas EU de emisiones de contaminantes reflejan valores menos estrictos que los que recomienda la Organización Mundial de la Salud. Por ello proponen utilizar los valores guía de la OMS y medir la exposición a los contaminantes atmosféricos en todas las ciudades, poniendo la información a disposición pública.

Entre las medidas para mejorar la calidad del aire y hacer más amables los entornos urbanos proponen:

En los edificios, sustituir progresivamente las calderas de combustibles fósiles por otras fuentes libres de emisiones (se menciona en varias ocasiones la aerotermia, geotermia o la “bomba de calor”). En los de nueva construcción actuar en los criterios técnicos, de manera que se incluyan conceptos ambientales en el diseño y transformar los edificios en nulos o casi nulos energéticamente (Reino Unido y Países Bajos están considerando prohibir acometidas de gas a las nuevas viviendas en 2025).

En el transporte por carretera medidas que promuevan la descarbonización con planes de renovación de vehículos (con ayudas exclusivas a los vehículos cero emisiones según varios agentes). Además, los entornos urbanos se pueden volver más amables para los ciudadanos promoviendo el transporte colectivo (y que éste sea libre de emisiones) y los modos de movilidad activos (como la bicicleta o caminar). También es necesario reducir las necesidades de desplazamiento fomentando el teletrabajo, la telecompra, las teleconferencias, la teleenseñanza, etc. Otra medida que puede ayudar a descarbonizar el transporte por carretera y mejorar la calidad del aire en los entornos urbanos es facilitar el desarrollo de vehículos de alquiler (y que los vehículos que se ofrezcan sean libres de emisiones).

En la ordenación territorial y el urbanismo, la restricción de los vehículos a los centros urbanos, la peatonalización de las calles, potenciar los bosques urbanos y las infraestructuras verdes (con una elección correcta de la vegetación que pueda formar parte del entorno urbano para evitar las especies que liberan compuestos orgánicos volátiles) y la construcción urbana sostenible (sistemas de drenaje, parques inundables, uso del agua regenerada, etc.).

7) ¿Cuáles serían sus sugerencias para que una mayoría social se implicase de manera proactiva en un compromiso con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero?

Un aspecto clave en este proceso de transformación es la información, formación y concienciación de los temas relacionados con el cambio climático y sus implicaciones (p.e campañas para incentivar a los ciudadanos a reducir sus consumos). En este marco, el diseño de políticas climáticas debería de incorporar instrumentos que permitan evitar el rechazo de la ciudadanía, junto con medidas que protejan a los consumidores más vulnerables.

La ejemplaridad de las políticas públicas puede servir en gran medida para concienciar a la ciudadanía, además, la contratación pública para fomentar proyectos con baja huella de carbono puede servir de ejemplo a otras entidades y organizaciones. También se destaca la importancia de establecer objetivos cuantitativos en todos los ministerios y que exista una coherencia entre las distintas medidas y políticas. Algunos agentes solicitan la creación de una plataforma de diálogo multinivel sobre energía y clima donde se den a conocer los impactos del cambio climático y se impulse el cambio de patrones y los estilos de vida saludables para las personas y el medio ambiente.

8) ¿Qué papel han de desempeñar en este proceso de modernización, innovación y descarbonización de la economía las empresas y sus organizaciones patronales?, ¿Qué sugerencias haría para fomentar su implicación proactiva y su vocación de liderazgo económico en este cambio hacia una España climáticamente neutra?

Las empresas son clave en este proceso de transición energética. Para que se puedan llevar a cabo las inversiones necesarias es necesario que se establezca un marco regulatorio estable a largo plazo que cree seguridad jurídica y certeza a los inversores y agentes empresariales.

La economía española está bien posicionada para aprovechar las oportunidades de un escenario que, apuesta por la descarbonización, por sus recursos naturales, el liderazgo de las empresas en energías limpias, etc. Se destaca la necesidad de establecer alianzas público-privadas para alcanzar los objetivos.

Además, los distintos agentes proponen:

- ▶ Dar señales claras a las empresas, indicar la velocidad a la que se quiere avanzar hacia el objetivo de no emitir CO₂ para 2050.
- ▶ Implicar a las empresas y organizaciones en el proceso de transformación.
- ▶ Crear incentivos para la industria vanguardista de la transformación.
- ▶ Crear un mercado de CO₂ transversal a todos los sectores.
- ▶ Crear marcos regulatorios que creen seguridad jurídica y certeza a los inversores y agentes empresariales.
- ▶ Promover medidas fiscales que incentiven la economía circular y desincentiven las actividades nocivas para el medio ambiente.
- ▶ Impulsar políticas que eviten la fuga de carbono.
- ▶ Definir objetivos de desarrollo sostenible y de la agenda 2030.
- ▶ Implicar a las patronales en el proceso de elaboración de los planes.
- ▶ Establecer estatutos de responsabilidad social corporativa de las empresas que promuevan el uso de las renovables, la EE y la movilidad sostenible.
- ▶ Impulsar las políticas bajas en carbono, calcular la huella de carbono de las empresas.
- ▶ Modificar el Real Decreto 163/2014 de 14 de mayo para que la compensación de emisiones de CO₂ sea obligatorio.

9) ¿Cuáles son los elementos esenciales en materia de adaptación que deberían ser introducidos en la Estrategia? ¿Qué sectores considera más críticos y que políticas y medidas debieran planificarse?

La adaptación al cambio climático es un tema cada vez más visible que se refleja tanto en las políticas nacionales como en el interés creciente de diferentes agentes internacionales.

La Estrategia debería de contemplar la elaboración de planes de riesgo en los distintos sectores de la economía, además de establecer indicadores sectoriales para el seguimiento. Así mismo, en las instalaciones e infraestructuras es preciso reevaluar las directrices y normas técnicas para establecer diseños resilientes al cambio climático.

Además, es necesario:

- ▶ En el sector industrial, facilitar la adaptación de las empresas a los fenómenos extremos originados por el cambio climático.
- ▶ En el sector energético, establecer un mecanismo de capacidad que garantice la seguridad de suministro.

ANEXO F. PROCESO PARTICIPATIVO

- ▶ En el ámbito de los sumideros de carbono, estudiar la adaptación de los bosques.
- ▶ En el sector de la agricultura, promover la bioeconomía y evitar el desperdicio alimentario.
- ▶ En el sector del agua, llevar a cabo un plan de cuencas que asegure el suministro y calidad del agua.

Y en general:

- ▶ Mejorar la calidad y acceso a la información.
- ▶ Establecer un marco de gestión de riesgos climáticos.
- ▶ Establecer plataformas y grupos de trabajo en materia de adaptación.
- ▶ Reforzar la relación entre salud y cambio climático.
- ▶ Reconocer los beneficios de la acción climática integral.
- ▶ Aprobar planes y estrategias de adaptación ante emergencias y catástrofes naturales, plagas y otras enfermedades.

10) En caso de no poder contar con una Ley que permita afrontar el reto de la descarbonización ¿Qué otro tipo de soluciones, regulatorias o no regulatorias, cree que serían necesarias para asegurar el cumplimiento de los compromisos internacionales y europeos en materia de cambio climático y transición energética?

En este apartado, la mayoría de los comentarios tienen una visión unánime: es necesaria una Ley que garantice un marco estable en el que se puedan llevar a cabo las inversiones que consigan descarbonizar la economía. Además, la mayoría de los agentes comparten la opinión de que, tanto la Estrategia como la Ley de cambio climático deberían aprobarse mediante un Pacto de Estado. También, se propone un mecanismo de Gobernanza que supervise la ejecución de las medidas y el cumplimiento de los objetivos.

Y, además:

- ▶ Reforma de la Ley del Sector Eléctrico.
- ▶ Reforma de la tarifa eléctrica.
- ▶ Reforma del sistema de subastas.
- ▶ Simplificación administrativa.
- ▶ Rápida transposición de las Directivas Europeas.
- ▶ Creación de un Fondo Forestal Nacional.
- ▶ Creación de una Comisión Nacional de Expertos/as sobre el Cambio Climático.
- ▶ Agilizar el abandono del carbón.
- ▶ Planes sectoriales y regionales (en particular para el transporte ferroviario de mercancías).
- ▶ Impuestos a la aviación.
- ▶ Eliminar subvenciones a los combustibles fósiles.
- ▶ Moratoria sobre los proyectos de construcción de nuevas carreteras o aeropuertos.
- ▶ Planes de actuación en las ciudades (peatonalización de centros urbanos, promoción del transporte público y de otros medios de transporte compartidos).

ANEXO G

GLOSARIO
DE TÉRMINOS

ANEXO G. GLOSARIO DE TERMINOS

| | |
|------------------------|--|
| AA.PP.: | Administraciones Públicas. |
| ACER: | Agency for the Cooperation of Energy Regulators (EU). |
| ACS: | Agua Caliente Sanitaria. |
| ADR: | Agencia de Desarrollo Rural. |
| AEB: | Asociación Española de Banca. |
| AEMET: | Agencia Estatal de Meteorología. |
| AGE: | Administración General del Estado. |
| APPA: | Asociación de Empresas de Energías Renovables. |
| AQ-SRM: | Air Quality - <i>Source Receptor Model</i> . |
| BAU: | Negocios como siempre (<i>Business as usual</i>). |
| BC3: | <i>Basque Centre for Climate Change</i> . |
| BECCS: | Bioenergía con Captura y Almacenamiento de Carbono (<i>BioEnergy with CCS</i>). |
| BEI: | Banco Europeo de Inversiones. |
| CC: | Cambio Climático. |
| CC.AA.: | Comunidades Autónomas. |
| CCS: | <i>Carbon Capture and Storage</i> (Captura y Almacenamiento de Carbono). |
| CCU: | <i>Carbon Capture and Utilization</i> (Captura y Uso del Carbono). |
| CCUS: | Tecnología de secuestro, almacenamiento y uso del carbono (por sus siglas en inglés). |
| CE: | Comisión Europea. |
| CECA: | Confederación Española de Cajas de Ahorros. |
| CECRE: | Centro de Control de Energías Renovables. |
| CEDEX: | Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. |
| CGE: | <i>Computable General Equilibrium</i> (Modelo de Equilibrio General Computable). |
| CH₄: | <i>Metano</i> . |
| CHP: | <i>Combined Heat and Power</i> . |
| CIRC: | Escenario utilizado por la Comisión Europea, basado en la economía circular (<i>Circular Economy</i>). |
| CMNUCC: | Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. |
| CNMC: | Comisión Nacional de Mercados y de la Competencia. |
| CO: | Monóxido de Carbono. |
| CO₂: | Dióxido de Carbono. |
| COAG: | Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos. |
| COP: | Conference Of Parties (ver CMNUCC) ¹⁰² . |

¹⁰² La COP21, la conferencia nº 21 se celebró en París. La COP25, se celebró en Madrid, bajo la presidencia chilena.

| | |
|----------------------------|---|
| CSIC: | Centro Superior de Investigaciones Científicas. |
| CTE: | Código Técnico de Edificación. |
| DENIO: | <i>Dynamic Econometric National Input-Output</i> (Modelo económico y multisectorial utilizado para analizar los impactos socio-económicos). |
| DG: | <i>Distributed Generation</i> (Generación Distribuida). |
| DMR: | <i>Directiva Marco de Residuos</i> . |
| DNE: | Difusos No Energéticos. |
| DSEAR: | Depuración, Saneamiento, Eficiencia, Ahorro y Reutilización. |
| DSO: | Operador de Sistema de Distribución (<i>Distribution System Operator</i>). |
| DUSI: | Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado. |
| EDAR: | Estación Depuradora de Aguas Residuales. |
| EE: | Eficiencia Energética. |
| EEA: | <i>European Environment Agency</i> (Agencia Europea del Medioambiente). |
| EE.MM.: | Estados Miembros. |
| EFRC: | <i>Energy Frontier Research Centers</i> . |
| EFSI: | Fondo Europeo de Inversiones Estratégicas (por sus siglas en inglés). |
| ELP: | Estrategia a Largo Plazo. |
| EnR: | <i>European Energy Network</i> . |
| ENTSO-e: | Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad. |
| ETC: | <i>Energy Transitions Commission</i> . |
| ETS: | <i>Emissions Trading Scheme</i> (ver RCDE). |
| EU-ETS: | <i>Europe Union Emissions Trading System</i> (ver RCDE-UE). |
| EUROSTAT: | Oficina Europea de Estadística. |
| FAIR: | <i>Finite Amplitude Impulse Response</i> . |
| FEADER: | Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural. |
| FEDER: | Fondo Europeo de Desarrollo Regional. |
| FEMP: | Federación Española de Municipios y Provincias. |
| FES-CO₂: | Fondo de Carbono para una Economía Sostenible. |
| FIDELIO: | <i>Fully Interregional Dynamic Econometric Long-term Input-Output</i> . |
| FINADAPT: | Consortio dedicado al estudio de la adaptación a los potenciales efectos del Cambio Climático en Finlandia. |
| FINRESP: | Centro de Finanzas Responsables y Sostenibles. |
| FNEE: | Fondo Nacional de Eficiencia Energética. |

ANEXO G. GLOSARIO DE TERMINOS

| | |
|------------------|---|
| FORECAST: | <i>FORecasting Energy Consumption Analysis and Simulation Tool.</i> |
| FP: | Formación Profesional. |
| FV: | Fotovoltaica. |
| GEI: | Gases de Efecto Invernadero. |
| GHG: | <i>Greenhouse Gas.</i> |
| GNL: | Gas Natural Licuado. |
| HFC: | Hidrofluorocarbonos. |
| HFO: | Hidrofluoroolefinas. |
| I+D+i: | Investigación, Desarrollo e Innovación. |
| I+i+c: | Investigación, Innovación y Competitividad. |
| ICAO: | Organización de Aviación Civil Internacional (por sus siglas en inglés). |
| ICO: | Instituto de Crédito Oficial. |
| IDAE: | Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. |
| IET: | Industria, Energía y Turismo. |
| IIE: | Industria con uso Intensivo de Energía. |
| IIT: | Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad de Comillas. |
| IMO: | Organización Marítima Internacional (por sus siglas en inglés). |
| INE: | Instituto Nacional de Estadística. |
| INTRAW: | <i>International Raw Materials Observatory.</i> |
| INVERCO: | Asociación de Instituciones de Inversión Colectiva y Fondos de Pensión. |
| IPCC: | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). |
| IPCEI: | <i>Important Projects of Common European Interest.</i> |
| IRENA: | Agencia Internacional de las Energías Renovables (<i>International Renewable Energy Agency</i>). |
| ISBN: | <i>International Standard Book Number.</i> |
| JRC: | <i>Joint Research Centre.</i> |
| KIC: | <i>Knowledge and Innovation Community.</i> |
| LULUCF: | <i>Land Use, Land-Use Change and Forestry</i> (ver UTCUTS). |
| MAGICC: | <i>Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change.</i> |
| MAGRAMA: | Antiguo Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. |
| MAPA: | Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. |
| MARPOL: | Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (abreviatura de <i>polución marina</i> en inglés). |

| | |
|------------------------|---|
| MCC: | Marco Financiero Multianual (<i>Multiannual Financial Framework</i>). |
| MINCOTUR: | Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. |
| MITECO: | Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. |
| MITMA: | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana ¹⁰³ . |
| MOVES: | Plan de Movilidad Eficiente y Sostenible. |
| N₂O: | Óxido Nitroso. |
| NDC: | Contribuciones Nacionales Determinadas (del inglés) ¹⁰⁴ . |
| NH₃: | Amoníaco. |
| NIMBY: | No en mi patio trasero (<i>Not In My Back Yard</i>) – ver SPAN –. |
| NIR 2019: | Inventario Nacional Gases de Efecto Invernadero (<i>National Inventory Report</i>). |
| NO_x: | Óxidos de Nitrógeno. |
| OCDE: | Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. |
| ODS: | Objetivos de Desarrollo Sostenible. |
| OIT: | Organización Internacional del Trabajo. |
| OMIE: | Operador del Mercado Ibérico de Energía - Polo Español. |
| OMS: | Organización Mundial de la Salud. |
| P2X: | <i>Power-to-X</i> (la X puede representar bien gas o bien líquidos; es decir, <i>Power-to-Gas</i> o <i>Power-to-Liquids</i> . Combustibles producidos con electricidad descarbonizada). |
| PAC: | Política Agraria Común (<i>Common Agricultural Policy, CAP</i>). |
| PAREER: | Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Existentes. |
| PCA: | Potencial de Calentamiento Atmosférico. |
| PCI: | <i>Projects of Common Interest</i> . |
| PER: | Plan de Energías Renovables 2011-2020. |
| PESETA: | <i>Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the EU based on bottom-up Analysis</i> . |
| PFC: | Perfluorocarburos. |
| PHFC: | Programa Horario Final Continuo. |
| PIB: | Producto Interior Bruto. |
| PIMA: | Planes de Impulso al Medio Ambiente. |
| PNACC: | Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. |
| PNIEC: | Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. |
| POTEnCIA: | Herramienta de modelización desarrollada por el JRC para la UE (<i>Policy Oriented Tool for Energy and Climate Change Impact Assessment</i>). |

¹⁰³ Anterior Ministerio de Fomento.

¹⁰⁴ <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/informacion-adicional.aspx>

ANEXO G. GLOSARIO DE TERMINOS

| | |
|------------------------|--|
| PRIMES | <i>Price-Induced Market Equilibrium System.</i> |
| PYME: | Pequeña Y Mediana Empresa (pyme). |
| RCDE: | Régimen de Comercio de Derechos de Emisión. |
| RCDE-UE: | Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea. |
| RCP: | Trayectorias de Concentración Representativas (<i>Representative Concentration Pathway</i>) ¹⁰⁵ . |
| RECORE: | Retribución a la producción de energía renovable, cogeneración y residuos. |
| REE: | Red Eléctrica de España. |
| REF: | Escenario de Referencia. |
| RES: | Fuentes de Energía Renovables (<i>Renewable Energy Sources</i>). |
| RITE: | Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. |
| RSU: | Residuos Sólidos Urbanos. |
| SAP: | <i>Strategic Action Plan.</i> |
| SET-Plan: | Plan Estratégico de Tecnologías Energéticas. |
| SF₆: | Hexafluoruro de Azufre. |
| SO_x: | Óxidos de Azufre. |
| SPAN: | Sí, Pero Aquí No (versión castellanizada de NIMBY). |
| SSPA: | Áreas Escasamente Pobladas del Sur de Europa (<i>Southern Sparsely Populated Areas</i>). |
| STEM: | <i>Science, Technology, Engineering and Mathematics.</i> |
| T&E: | Federación Europea de Transporte y Medio Ambiente (<i>Transport & Environment</i>). |
| TE: | Tecnologías Energéticas. |
| TEN-T: | Red Transeuropea de Transporte. |
| TIC: | Tecnologías de Información y Comunicación. |
| TIMES: | <i>The Integrated MARKAL-EFOM System.</i> |
| TIMES-Sinergia: | Sistema Integrado para el Estudio de la Energía. |
| TSO: | <i>Transmission System Operator.</i> |
| UE: | Unión Europea. |
| UNACC: | Unión Nacional de Cooperativas de Crédito. |
| UTCUTS: | Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura. |
| V2G: | Del vehículo a la red (<i>Vehicle to Grid</i>). |
| VAB: | Valor Añadido Bruto. |
| VE: | Vehículo Eléctrico. |

¹⁰⁵ En el Quinto Informe IPCC se han definido 4 nuevos escenarios de emisiones, que se caracterizan por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100, que oscila entre 2,6 y 8,5W/m². Los cuatro RCPs, se denominan RCP2.6, RCP4.5, RCP6, y RCP8.5.

| | |
|-------------|--|
| VPO: | Vivienda de Protección Oficial |
| VSL: | <i>Value of Statistical Life</i> (Valor Estadístico de la Vida). |
| ZBE: | Zona de Bajas Emisiones. |

Unidades de medida

| | |
|----------------------------|--|
| €/MWh: | Euros por Megavatio hora. |
| bcm: | Billion cubic metres (o kilometro cubico de gas = 1000 millones de m ³). |
| EUR: | Euros (€). |
| GJ: | Gigajulios. |
| GW: | Gigavatios |
| GWh: | Gigavatios por hora. |
| GWh/día: | Gigavatios hora por día. |
| ktep: | Kilotonelada equivalente de petróleo. |
| kV: | kilovoltios. |
| MtCO₂eq: | Millones de toneladas de CO ₂ equivalente. |
| Mtep: | Millones de toneladas equivalentes de petróleo. |
| MVA: | Megavoltiamperio. |
| MW: | Megavatios. |
| Nm³/h: | Metros cúbicos normales por hora/normal metro cúbico por hora. |
| PM2.5: | Partículas en suspensión de menos de 2,5 micras. |
| tep/M€, base 2016: | Toneladas equivalentes de petróleo por millón de euros del año 2016 (Intensidad energética). |
| TJ: | Terajulios. |
| TWh: | Terawatios hora. |
| USD: | Dólar estadounidense (\$). |

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura A.1. Evolución de las emisiones y absorciones LULUCF (ktCO₂eq)
- Figura A. 2. Proyección de la evolución en las categorías de uso del suelo hasta 2050 (en ha)
- Figura A. 3. Repoblaciones forestales en el periodo 1940 – 2016 (unidades en ha)
- Figura A. 4. Cambios en el mapa de riesgo de desertificación
- Figura A. 5. Proyección de emisiones y absorciones LULUCF, Escenario Tendencial (ktCO₂eq)
- Figura A. 6. Proyección de emisiones y absorciones, Escenario de Neutralidad Climática (ktCO₂eq)
- Figura A. 7. Comparación de emisiones y absorciones LULUCF en escenarios objetivo y tendencial
- Figura B. 1. Comparativa del impacto económico previsto en las diferentes zonas UE a causa del cambio climático
- Figura B. 2. Frecuencia estimada de las sequías meteorológicas según escenarios (2041-2070)
- Figura B. 3. Marcos temporales del PNACC-2 y Programas de Trabajo
- Figura B. 4. Complementariedad de los enfoques “de arriba hacia abajo” y “de abajo hacia arriba”
- Figura B. 5. Tipos de medidas para la gestión de los riesgos del cambio climático
- Figura B. 6. Principales foros en materia de adaptación al cambio climático
- Figura B. 7. Factores que conducen a la desertificación
- Figura B. 8. Zonas de alto potencial climático de calidad vitivinícola (1971-2000 y 2021-2050)
- Figura B. 9. Temperaturas máximas de disparo de la mortalidad diaria (2000-2009)
- Figura C. 1. Consumo de Energía final para el conjunto de la Unión Europea en el horizonte 2050 según los escenarios de la Comisión Europea
- Figura C. 2. Capacidad de generación eléctrica para el conjunto de la Unión Europea en el horizonte 2050 según los escenarios de la Comisión Europea
- Figura C. 3. Estructura de generación eléctrica, 2018
- Figura C. 4. Cuota de energía renovable en la generación eléctrica
- Figura C. 5. Capacidades de intercambio de energía eléctrica
- Figura C. 6. Almacenamiento, redes y hogares
- Figura C. 7. Comparativa evolución de emisiones CO₂eq en el sector transporte entre España y la UE
- Figura C. 8. Reparto de emisiones de GEI del sector transporte por modos
- Figura C. 9. Reparto de emisiones de GEI en carretera por tipos de vehículos
- Figura C. 10. Consumo de energía según modos de transporte en mercancías y pasajeros 2018
- Figura C. 11. Evolución de las emisiones de CO₂ de los turismos nuevos
- Figura C. 12. Opciones de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector Transporte (Periodo 2015-2050, a nivel mundial, escenario 2°)
- Figura C. 13. Evolución de emisiones de CO₂ del Sector Edificios (en Mt de CO₂)
- Figura C. 14. Intensidad energética del sector residencial en España y la UE, 2000-2018
- Figura C. 15 Consumo energético del sector residencial según fuentes energéticas, 2018

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura C. 16. Indicadores de la Intensidad del Sector Residencial, 2000-2018
- Figura C. 17. Intensidad energética del Sector Servicios en España y la UE, 2000-2018
- Figura C. 18. Consumo eléctrico del sector servicios en España y la UE
- Figura C. 19. Tecnologías disponibles para la descarbonización en edificación
- Figura C. 20. Consumo de energía en la industria en España (ktep)
- Figura C. 21. Evolución de las emisiones GEI en diversos subsectores industriales, 2005-2015
- Figura C. 22. Áreas de opciones de reducción de emisiones más mencionadas en la literatura analizada
- Figura C. 23. Industria sostenible y competitiva
- Figura C. 24. Potencial de reducción de las emisiones de CO₂ por sectores
- Figura C. 25. Reparto de las emisiones no energéticas de los sectores difusos, 2018
- Figura C. 26. Distribución de emisiones de GEI del sector agrario en 2018
- Figura C. 27. Evolución emisiones sector agrario en la UE y en España en el periodo 1990-2017
- Figura C. 28. Emisiones de CH₄ de fermentación entérica y gestión de estiércoles 2015 (ktCO₂eq)
- Figura C. 29. Emisiones de N₂O de suelos agrícolas y gestión de estiércoles 2015 (ktCO₂eq)
- Figura C. 30. Emisiones agregadas de CH₄ y N₂O por Ha de Superficie Agrícola Utilizada 2015 (ktCO₂eq)
- Figura C. 31. Distribución de emisiones del sector residuos según tratamientos, 2018
- Figura C. 32. Emisiones (Kg CO₂eq) per cápita en sector Residuos
- Figura C. 33. Evolución de las emisiones de la gestión de residuos en la UE y en España
- Figura C. 34. Distribución de emisiones de gases fluorados por sectores, 2018
- Figura C. 35. Evolución porcentual emisiones gases fluorados en la UE y en España (Índice en tanto por uno)
- Figura D. 1. Evolución de las emisiones brutas totales de GEI, 1990-2050
- Figura D. 2. Evolución prevista del PIB 2015-2050 (2030=100)
- Figura D. 3. Evolución del consumo final de energía y mix energético a 2050
- Figura D. 4. Metodología. Inputs y outputs de los modelos DENIO y TM5-FASST
- Figura D. 5. Evolución de las inversiones adicionales del Escenario de Neutralidad Climática respecto al Tendencial entre 2031-2050 y % del PIB
- Figura D. 6. PIB producido (M€2016) por unidad de consumo final de energía (Mtep)
- Figura D. 7. Evolución de la importación de combustibles fósiles (M€2016)
- Figura D. 8. Evolución de las importaciones de combustibles fósiles cómo % del PIB
- Figura D. 9. Evolución del PIB (2030=100) entre 2031-2050
- Figura D. 10. Variación del PIB por tipo de efecto, escenarios objetivo vs. tendencial (M€2016)
- Figura D. 11. Variación del empleo por efecto, escenarios objetivo vs. tendencial (miles)
- Figura D. 12. Variación ingresos/gasto público, escenarios objetivo vs. tendencial (M€)
- Figura D. 13. Variación de las emisiones contaminantes atmosféricas en 2050 respecto al escenario tendencial (%)

- Figura D. 14. Muertes prematuras en España derivadas de la contaminación atmosférica en el año 2050
- Figura D. 15. Evolución de las muertes prematuras evitadas en el periodo 2031-2050 (Escenario Objetivo frente al Tendencial)
- Figura D. 16. Análisis de sensibilidad sobre el PIB en 2050, escenario objetivo respecto al tendencial (M€)
- Figura D. 17. Análisis de sensibilidad sobre el empleo en 2050, escenario objetivo vs. Tendencial (miles de empleos)
- Figura E. 1. Esquema de los escenarios analizados en el PNIEC y en la Estrategia a Largo Plazo
- Figura E. 2. Proyecciones de PIB y población
- Figura E. 3. Proyección del número de hogares
- Figura E. 4. Distribución del parque total de viviendas por tipología en el Escenario de Neutralidad Climática
- Figura E. 5. Precios internacionales de los combustibles fósiles (€/ barril equivalente de petróleo) y coste del derecho de emisión (€/ tCO₂)
- Figura E. 6. Emisiones en escenario sin tecnologías disruptivas (ktCO₂eq)
- Figura E. 7. Evolución de las emisiones GEI por sector desde 1990 hasta 2050 (ktCO₂eq)
- Figura E. 8. Consumo primario de energía incluyendo usos no energéticos en el Escenario ELP (ktep)
- Figura E. 9. Evolución de la contribución renovable en el consumo de energía primaria en el Escenario ELP
- Figura E. 10. Consumo final de energía incluyendo usos no energéticos en el Escenario ELP (ktep)
- Figura E. 11. Evolución de la contribución renovable en el consumo de energía final en el Escenario ELP. Sin incluir los usos no energéticos.
- Figura E. 12. Consumo de energía final sectorial en el Escenario ELP (ktep), excluidos consumos no energéticos
- Figura E. 13. Evolución de la contribución renovable en el sector industrial
- Figura E. 14. Evolución de la contribución renovable en el sector residencial
- Figura E. 15. Evolución de la contribución renovable en el sector servicios
- Figura E. 16. Evolución de la contribución renovable en el sector transporte
- Figura E. 17. Porcentaje de electrificación de la demanda final en los escenarios estudiados
- Figura E. 18. Generación de energía eléctrica (GWh) en los escenarios estudiados
- Figura E. 19. Demanda final de energía eléctrica (GWh) en los escenarios estudiados
- Figura E. 20. Parque de generación de energía eléctrica en el Escenario ELP (GW)
- Figura E. 21. Porcentaje de energía renovable respecto al consumo final de energía
- Figura E. 22. Porcentaje de energías renovables en el sector eléctrico
- Figura E. 23. Porcentaje de renovables en frío y calor
- Figura E. 24. Porcentaje de renovables en el transporte
- Figura E. 25. Intensidad energética primaria (incluyendo usos no energéticos) en ambos escenarios (tep / M€ base 2016)
- Figura E. 26. Porcentaje de electrificación del consumo de energía final en el Escenario ELP (excluyendo usos no energéticos y aviación internacional)
- Figura E. 27. Dependencia energética del exterior de la economía española (%)
- Figura F. 1. Clasificación de los agentes y detalle de las empresas

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A. 1. Resumen de los principales datos del sector LULUCF

Tabla C. 1. Demanda energética en edificación y fuentes de energía

Tabla C. 2. Estimación del consumo de materias primas en España (kg/persona/ año)

Tabla E. 1. Proyección de emisiones totales en el Escenario ELP

ESTRATEGIA A LARGO PLAZO PARA UNA ECONOMÍA ESPAÑOLA MODERNA, COMPETITIVA Y CLIMÁTICAMENTE NEUTRA EN 2050.

ANEXOS.

La Estrategia que recoge este documento se ha desarrollado de acuerdo a las directrices del *Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo del 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima*, en el que se establece la necesidad de elaboración de estrategias a largo plazo por parte de los Estados Miembros, con una perspectiva de, al menos, 30 años. La Unión Europea, como tal, presentará a las Naciones Unidas su propia estrategia a largo plazo a lo largo del año 2020, sobre la base de las propuestas nacionales.

Madrid mayo 2020

NIPO: Documento provisional pendiente de NIPO

Este documento forma parte de una serie de 4 documentos que recogen el Marco Estratégico de Energía y Clima: una oportunidad para la modernización de la economía española y la creación de empleo.

Vicepresidencia Cuarta del Gobierno de España

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Autor: MITECO

Edita: MITECO

Revisión de edición: IDAE

Diseño y Maquetación: BABYDOG arte y comunicación, S.L.

Diseño de infografías: Izertis

Imagen de portada: Parque Nacional de la Caldera de Taburiente / OAPN - Javier Martínez



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

MARCO ESTRATÉGICO DE ENERGÍA Y CLIMA