

Doctorado en Proyectos

Tesis doctoral

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ESPAÑOLAS Y SU IMPACTO SOCIOECONÓMICO. MADRID, ESPAÑA.

AUTOR: ÁLVARO ANTONIO MARTÍN RODRÍGUEZ

Madrid, España

Directora: Raquel Rojas Rodríguez

Diciembre, 2022

Resumen

El desarrollo sostenible es un reto que compromete a toda la población. Desde la mayoría de los Gobiernos, así como desde los Organismos Económicos Internacionales, se están impulsando políticas para la contención de las emisiones de gases de efecto invernadero. Uno de los problemas derivados de estas emisiones es el aumento de la temperatura global del planeta. Todo indica que, si no se modifica el actual estilo de vida y modelo económico de producción, basado en el petróleo y los combustibles fósiles, la temperatura del planeta seguirá aumentando, acarreando unas consecuencias irreversibles para el planeta y las especies que quedan en él, incluyendo la humana.

En este trabajo se analizó la contribución al calentamiento global de la economía española mediante la recopilación de datos observados desde 1965 hasta el presente para comprobar su evolución. Una vez cuantificado el problema, se llevó a cabo un estudio impositivo con un modelo de predicción para comprobar cómo afectarían las medidas modelizadas en las emisiones españolas en 30 años. Además, se analizaron medidas que se están adoptando actualmente para proponer adicionales, para continuar reduciendo las emisiones. El principal resultado que se obtuvo es que la manera óptima para disminuir las emisiones sin penalizar gravemente el crecimiento es el establecimiento de un tipo impositivo con el reciclado de los ingresos generados. Se llegó a la conclusión de que el sistema impositivo español no penaliza las emisiones vía impuestos directos y que queda largo camino para conseguir el “net zero” de la Unión Europea para 2050.

Palabras clave: cambio climático, efecto invernadero, net zero, emisiones, impuestos medioambientales.

Abstract

Sustainable development is a challenge that addresses the entire population. From the majority of the Governments, as well as from the International Economic Organizations, policies are being promoted to contain greenhouse gas emissions. One of the problems derived from these emissions is the increase in the global temperature of the planet. Everything points to the fact that, if the current lifestyle and economic model of production, based on oil and fossil fuels, are not modified, the temperature of the planet will continue to rise, entailing irreversible consequences for the planet and the species that remain on it, including the human.

This paper has analyzed the contribution to global warming of the Spanish economy, collecting observed data from 1965 to the present to verify its evolution. Once the problem has been quantified, a tax study has been carried out with a prediction model to check how the modeled measures would affect Spanish emissions in 30 years. In addition, measures that are currently being adopted have been analyzed to propose additional ones, to continue reducing emissions. The main result obtained is that the optimal way to reduce emissions without seriously penalizing growth is the establishment of a tax rate with the recycling of generated income. It was concluded that the Spanish tax system does not penalize emissions via direct taxes and that there is a long way to go to achieve the "net zero" of the European Union by 2050.

Keywords: climate change, greenhouse effect, net zero, emissions, green taxes.

Dedicatorias

A Noelia, por haber aparecido en mi vida en el momento justo.

A Kalel y a Atlas, por haberme devuelto la ilusión.

Sin ellos, esto no habría sido posible.

Agradecimientos

A Eva, a Montse, a Raquel, a Yolanda, a Mark, a Juan y a Javier.

A quienes me han apoyado en este proceso, que han sido los suficientes.

A quienes no lo han hecho, pues me han dado más fuerzas para seguir adelante.

Y a quienes, por un motivo o por otro, se han quedado en el camino.

Contenido

Resumen ii
Abstract iii
Dedicatorias iv
Agradecimientos v
CAPÍTULO 1. Marco Introductorio 13
1.1. Introducción 13
1.2. Una breve fundamentación económica y su evolución en el tiempo 14
1.3. El problema: las emisiones y la temperatura global 18
1.4. La importancia del calentamiento global y su relación con las emisiones 27
1.5. Justificación del estudio 36
1.6. Hipótesis de la investigación y objetivos 37
1.7. Estructura 38
CAPÍTULO 2. Marco Teórico 40
2.1. Análisis general introductorio 40
2.2. Las emisiones de la economía española 45
2.3. Impacto de la COVID-19 en las emisiones españolas 59
2.4. Observaciones al análisis de las emisiones de la economía española y del impacto de la COVID19 66
2.5. Marco legal I: los mercados de derechos de emisión 67
2.6. Marco legal II: el "Green Deal" de la Unión Europea 77
CAPÍTULO 3. Marco Empírico 82
3.1. Objetivos y metodología 82
3.1.1. Revisión bibliográfica y análisis crítico 82
3.1.2. Regresión lineal simple 83
3.1.3. Coeficiente de determinación 85
3.1.4. Modelos Dinámicos Integrados de Economía – Clima 86
3.1.4.1. Introducción a los modelos 86
3.1.4.2. Los objetivos de los Modelos de Evaluación Integrados 87
3.1.4.3. Las ecuaciones del modelo DICE 88
3.1.4.4. Las variables económicas 91
3.2. Diseño del modelo 92

3.2.1. Diseño del modelo dice para España 92
3.2.1.1. Descripción del modelo 92
3.2.1.2. Los agentes 94
3.2.1.3. Producción, oferta y demanda 95
3.2.1.3. La energía y el módulo medioambiental 96
3.2.2. Preparación del modelo 97
3.2.2.1. Datos 97
3.2.2.2. Variables exógenas 102
3.2.3. Escenarios 104
3.3. Análisis de las medidas actuales y comparación con las medidas de los socios de la UE 107
3.3.1. Resultados del análisis comparativo de las emisiones españolas frente a las de la UE 108
3.3.2. Discusión de los resultados del análisis comparativo de las emisiones españolas frente a las de la UE 117
3.3.3. Resultados del análisis de las medidas propuestas para los sectores no adscritos al comercio de derechos de emisión 118
3.4. Nuevas propuestas para la reducción de los GEI españoles. Resultados del análisis 131
3.5. Resultados de la aplicación del modelo 137
CAPÍTULO 4. Discusión y Conclusiones 147
4.1. Discusión de los resultados de la aplicación del modelo 147
4.2. Conclusiones de la investigación 163
4.3. Limitaciones del estudio 169
4.4. Futuras líneas de investigación 170
Referencias Bibliográficas 171
Apéndices 187
Apéndice I: El índice AGGI 187
Apéndice II: Emisiones por sectores de la economía española (2018) 188
Apéndice III: Pesos de los sectores económicos con respecto al PIB español (2018) 189
Apéndice IV: Emisiones totales de co_2 y emisiones de co_2 debidas al petróleo en España (1980-2017) 189
Apéndice V: Consumo energético en el transporte por modo, tipo de combustible y tipo de tráfico (nacional e internacional) 191

Apéndice VI: Componentes del PIB español, años 2019 y 2020 194
Apéndice VII: Descripición detallada del modelo aplicado (3.2)..... 198
Apéndice VIII: Formas de contabilizar las emisiones 209
Apéndice IX: GAMS y la rutina CONOPT 209
Apéndice X: Agregación de las 101 industrias en 5 sectores 210
Apéndice XI: Aclaración sobre las elasticidades aplicadas en el modelo 212
Apéndice XII: Datos contribución de cada uno de los sectores difusos a las emisiones de CO_2 en España, 2018..... 213
Apéndice XIII: Biocombustibles de segunda generación 213
Apéndice XIV: El plan nacional integrado de energía y clima (PNIEC) 2021-2030. 214
Apéndice XV: Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica... 214
Apéndice XVI: Planes PIMA..... 216
Apéndice XVII: PIB real Y PIB nominal 219
Apéndice XVIII: Cuentas medioambientales..... 219
Glosario..... 226

Lista de tablas y figuras

Figuras

Figura 1 Influencia de los principales gases de efecto invernadero producidos por el hombre 20
Figura 2 Emisiones de CO_2 procedentes de combustibles fósiles y de la actividad industrial 21
Figura 3 Evolución de la generación eléctrica y las emisiones de CO_2 del sector eléctrico en las economías más avanzadas 22
Figura 4 Evolución de las emisiones por tipo de economía 23
Figura 5 Evolución de la temperatura media mundial (diferencia con el promedio 1981-2010) 24
Figura 6 Temperatura media global y concentración de CO_2 (1100-2000) 25
Figura 7 Temperatura media global y concentración de CO_2 (1959-2010) 26
Figura 8 Correlación entre temperatura media global y concentración de CO_2 (1959-2010) 27
Figura 9 Océano Glaciar Ártico, septiembre de 1985 28
Figura 10 Océano Glaciar Ártico, septiembre de 1995 29
Figura 11 Océano Glaciar Ártico, septiembre de 2005 29
Figura 12 Océano Glaciar Ártico, septiembre de 2015 30
Figura 13 Evolución del mínimo hielo marino del Ártico (en septiembre de cada año) 31
Figura 14 Elevación del nivel del mar desde 1993 32
Figura 15 Variación de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a 1984 . 33
Figura 16 Los 10 países con mayores desplazamientos internos (2008-2018) 34
Figura 17 Desastres por desplazamientos internos (2008-2018) 35
Figura 18 Porcentaje de población desplazada por país (2008-2018) 36
Figura 19 Cambio en la temperatura de la superficie de La Tierra, relativa a las temperaturas medias del período 1951-1980 41
Figura 20 Comparación de la tendencia de la temperatura en superficie de La Tierra y la energía que recibe procedente de El Sol 44
Figura 21 Los 30 países con mayores emisiones de CO_2 procedentes de combustibles fósiles (en millones de toneladas, 2018) 45
Figura 22 Los 30 países con mayores emisiones de CO_2 procedentes de combustibles fósiles (en millones de toneladas) – datos 46
Figura 23 Principales gases de efecto invernadero que emitió España en 2018 47
Figura 24 Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero de la economía española (en miles de toneladas, 2008-2018) 48
Figura 25 Evolución del PIB de la economía española (1996-primer trimestre 2020) .. 49
Figura 26 Aumento del consumo de energía y emisiones de CO_2 en España (1965-2018) 50
Figura 27 Gráfica de emisiones por sectores de la economía española (2018) 51
Figura 28 Peso de emisiones por sectores de la economía española (2018) 52
Figura 29 Pesos de los sectores económicos con respecto al PIB (España, 2018) 53
Figura 30 Emisiones de CO_2 totales y emisiones de CO_2 por petróleo en España 54

Figura 31 Evolución del consumo de petróleo en España (1990-2018) 55
Figura 32 Mix de energía y variación del consumo (España, 2018) 56
Figura 33 Volumen de emisiones de gases de efecto invernadero generado en la industria del transporte en España de 2008 a 2018 (en miles de toneladas equivalentes de CO_2) 57
Figura 34 Volumen de emisiones de gases de efecto invernadero generado por la agricultura en España de 2008 a 2018 (en miles de toneladas equivalentes de CO_2)..... 58
Figura 35 Volumen de emisiones de gases de efecto invernadero generado por los procesos industriales y el uso de productos en España de 2007 a 2017 (en miles de toneladas equivalentes de CO_2) 59
Figura 36 Variaciones diarias de emisiones de CO_2 (%) procedentes de combustibles fósiles 60
Figura 37 Consumo de gasolina, gasoil de automoción y queroseno en España, 1996-2020 marzo 61
Figura 38 Demanda eléctrica los lunes a las 10:00 62
Figura 39 Evolución de la demanda eléctrica por semanas (febrero a mayo de 2020) .. 62
Figura 40 Concentración de NO_2 en Europa en marzo-abril de 2019 63
Figura 41 Concentración de NO_2 en Europa en marzo-abril de 2020 64
Figura 42 Variación interanual del PIB español, en % 65
Figura 43 Demanda nacional y externa: aportaciones al crecimiento interanual en volumen del PIB español 66
Figura 44 Miembros ICAP y su cobertura, 2020 70
Figura 45 Programas SCE en el mundo (I) 71
Figura 46 Programas SCE en el mundo (II) 72
Figura 47 Fechas de entrada en vigor de los SCE en el mundo 73
Figura 48 Evolución de los precios por tonelada de CO_2 de los derechos de emisión (década 2010) 75
Figura 49 Medidas para la reducción de la huella de carbono, por sectores 76
Figura 50 Reducción de las emisiones de CO_2 de las economías más avanzadas (2018-2019) 77
Figura 51 Paquete de medidas del “Pacto Verde Europeo” 79
Figura 52 Cambio en las emisiones de GEI de 1990 a 2019, por sector 80
Figura 53 Población residente en España proyectada 2020-2050 103
Figura 54 Emisiones de GEI totales de España en comparación con la UE (brutas y base 1990) 109
Figura 55 Emisiones de GEI por consumo energético de España en comparación con la UE 110
Figura 56 Emisiones de GEI de la agricultura de España en comparación con la UE . 111
Figura 57 Emisiones medias de CO_2 por kilómetro de los coches privados de España en comparación con la UE 112
Figura 58 Consumo energético primario de España en comparación con la UE 113
Figura 59 Consumo de energía final de España en comparación con la UE 114
Figura 60 Porcentaje de energías renovables de España en comparación con la UE ... 115
Figura 61 Impuestos implícitos en la energía de España en comparación con la UE .. 116

Figura 62 Uso de nitrógeno agrícola de España en comparación con la UE 117
Figura 63 Contribución de cada uno de los sectores difusos a las emisiones de CO_2 en España, 2018 119
Figura 64 Contribución de cada sector para cubrir la brecha entre las proyecciones y la senda de emisiones, propuesta por la hoja de ruta 123
Figura 65 Evolución de las emisiones proyectadas desde 2015 a 2040 en el escenario tendencial (WeM) 124
Figura 66 Evolución de las emisiones proyectadas desde 2015 a 2040 en el escenario con medidas adicionales (WaM) 125
Figura 67 Impacto de las políticas y medidas en los años 2030 y 2040 (vs 2015) en los dos escenarios proyectados 126
Figura 68 Evolución de las emisiones de GEI en España por actividad 131
Figura 69 Gramos de CO_2 por pasajero y kilómetro 133
Figura 70 Emisiones de SO_x de barcos de crucero y automóviles, Europa, 2017 134
Figura 71 Evolución del consumo de energía por usos (2010-2020) 135
Figura 72 Tratamiento final de residuos urbanos en España, 2018 136
Figura 73 Diferencias porcentuales en el PIB bajo diferentes impuestos al carbono y opciones de reciclaje de impuestos, en relación con el caso base (sin reciclado del impuesto) 140
Figura 74 Diferencias porcentuales en el PIB bajo diferentes impuestos al carbono y opciones de reciclaje de impuestos, en relación con el caso base (con reciclado del impuesto sobre el capital) 141
Figura 75 Diferencias porcentuales en el PIB bajo diferentes impuestos al carbono y opciones de reciclaje de impuestos, en relación con el caso base (con reciclado del impuesto sobre el trabajo) 142
Figura 76 Diferencias porcentuales en el PIB bajo diferentes impuestos al carbono y opciones de reciclaje de impuestos, en relación con el caso base (con reciclado del IVA) 143
Figura 77 Variación porcentual de las emisiones de CO_2 para diferentes tasas impositivas sobre el carbono, promediadas sobre las opciones de reciclado de impuestos 144
Figura 78 Porcentaje que representan los impuestos ambientales sobre el total de impuestos de la economía española (2008-2020) 151
Figura 79 Porcentaje que suponen los ingresos por impuestos medioambientales en países europeos (2019) 152
Figura 80 Aumento de las emisiones de CO_2 por uso de la energía en la UE 155
Figura 81 Emisiones de CO_2 en España (toneladas métricas per cápita) 156
Figura 82 Emisiones de CO_2 previstas en diferentes escenarios 158
Figura 83 Cambios en la temperatura en diferentes escenarios (incrementos sobre la temperatura media desde 1900, en ºC) 159
Figura 84 Precios de las emisiones de CO_2 en diferentes escenarios (precios por tonelada en dólares americanos de 2010) 160
Figura 85 Evolución del índice AGGI (1700-2019) 187
Figura 86 Ficha planes PIMA 217

Figura 87 Cuentas medioambientales españolas. 2020 y avance 2021 220

Tablas

Tabla 1 Resumen del SAM de la economía española, 2007, en millones de euros..... 101
Tabla 2 Actuaciones del MITECO en los componentes del Plan de Recuperación 128
Tabla 3 Contribución climática de cada componente del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. 130
Tabla 4 Diferencias porcentuales de indicadores macroeconómicos para impuestos al carbono en varios escenarios de reciclado del impuesto, en relación con el caso base 138
Tabla 5 Diferencias porcentuales para indicadores de producción de la industria seleccionados, para impuestos al carbono en varios escenarios de reciclado del impuesto, en relación con el caso base 139
Tabla 6 Recaudación a través de impuestos ambientales por ramas de actividad en España (2019) 153
Tabla 7 Costes sociales del carbono (dólares americanos de 2010/tonelada de CO_2).. 163
Tabla 8 Tabla de emisiones por sectores de la economía española (2018) 188
Tabla 9 Tabla de pesos de los sectores económicos con respecto al PIB (España, 2018) 189
Tabla 10 Emisiones totales del CO_2 y explicadas por el petróleo en España (1980-2017) 189
Tabla 11 Consumo energético en el transporte por modo, tipo de combustible y tipo de tráfico (2008-2017) 191
Tabla 12 Producto interior bruto. Demanda. Volumen encadenado. Tasas de variación interanual 194
Tabla 13 Producto interior bruto. Oferta. Volumen encadenado. Tasas de variación interanual. 195
Tabla 14 Producto interior bruto. Precios corrientes. Tasas de variación interanual ... 196
Tabla 15 Producto interior bruto. Precios de mercado. Tasas de variación interanual. 197
Tabla 16 Agregación de las 101 industrias en 5 sectores 210
Tabla 17 Contribución de cada uno de los sectores difusos a las emisiones de CO_2 en España, 2018 213
Tabla 18 Reducción de los contaminantes muy nocivos 216

CAPÍTULO 1. Marco Introductorio

1.1. Introducción

Según datos de National Oceanic and Atmospheric Administration (N.O.A.A.), enero de 2020 ha sido el más cálido desde 1880, tanto en los océanos como en tierra. La temperatura en el mes y año citados está 1,14ºC por encima del promedio del periodo 1880-2020. En 1959 las emisiones de dióxido de carbono (CO_2, en adelante) procedentes de combustibles fósiles eran de 8,9 millones de giga-toneladas (Gt, en adelante), mientras que en 2019 fueron de 36,6 millones. Esto supone una variación, tomando como base 1959, de más del 311% (NOAA, 2023).

Estudios existentes demuestran que las actividades humanas han incrementado espectacularmente la concentración natural de CO_2 en la atmósfera, amplificando el efecto invernadero natural del planeta. Según EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) Dome C (el observatorio o punto de investigación), que es el proyecto de Muestreo de hielo en la Antártida, se ha estimado que la concentración media de CO_2 en la atmósfera antes de la organización de los humanos en sociedad era de unas 220 partes por millón (ppm, en adelante). Se observa un aumento instantáneo de este nivel a partir de la Revolución Industrial, llegando en 2018 a las 407 ppm (Lüthi et al., 2008).

Según datos de la organización Climate Action Tracker (organización científica independiente que analiza las medidas de los gobiernos con respecto al cambio climático) en su publicación anual (Climate Analytics & Next Climate Institute, 2019), si no se toman medidas para controlar la subida global de las temperaturas, al final de este siglo el aumento será de ente 4,1ºC y 4,8ºC; siguiendo las políticas actuales, dicho aumento sería de entre 2,8ºC y 3,1ºC respecto a la temperatura media pre-industrial.

A la vista de los datos comentados previamente, podría decirse que la emisión de gases de efecto invernadero y el aumento de la temperatura media global están relacionadas directamente, pudiendo guardar, además, un alto grado de correlación entre ellas. Esta relación ha sido demostrada por múltiples estudios a lo largo de los años, como los de Naciones Unidas (IPCC, 2018b), la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2018), el Banco Europeo de Inversiones (Fankhauser & Soare, 2012) o el Fondo Monetario Internacional (IMF, 2019). A consecuencia de ello, la comunidad científica, los gobiernos de las naciones y las organizaciones supranacionales tratan de limitar el aumento de la temperatura global en un horizonte temporal, siendo necesaria la cooperación de los diferentes gobiernos nacionales. Se hace así interesante (y quizá necesario) un estudio de la economía española y las emisiones de este tipo de gases para poder comprobar cuál es la contribución española al cambio climático. Esto se llevará a cabo mediante la aplicación de modelos integrados dinámicos de economía-clima sobre una serie de variables seleccionadas de la economía española. La pretensión es encontrar las variables de mayor incidencia sobre la emisión de gases de efecto invernadero con la finalidad de estudiar cómo pueden disminuir las citadas emisiones (y con qué costes, no siendo económicos todos ellos) y así reducir esa negativa contribución al cambio climático.

1.2. Una breve fundamentación económica y su evolución en el tiempo

La contaminación, en general, y la emisión de GEI (gases de efecto invernadero), en particular, son consecuencias negativas de la actividad económica. Es a finales del siglo XIX cuando algunos economistas, pioneros entonces, comienzan a hablar del

concepto de “externalidad”. Tratan de recoger los posibles efectos de la producción o el consumo de bienes sobre otros productores o consumidores y que no se recogen en los precios de mercado. Es el caso de los economistas Sidwick en su libro “Principles of Political Economy” (Sidgwick, 1887) y Marshall, en “Principles of Economics” (Marshall, 1890).

A principios del siglo XX, en Gran Bretaña, el paso del ferrocarril causaba frecuentes incendios en las tierras agrícolas colindantes. Los agricultores reclamaban una compensación por esta externalidad negativa. Es en 1920 cuando Pigou, en “The Economics of Welfare” (Pigou, 1920), utiliza el término “externalidad” para explicar las divergencias entre el producto neto social y el producto neto privado. De esta manera, en el problema del ferrocarril y los agricultores, podría justificarse la intervención estatal, estableciendo un gravamen compensatorio. Esto es lo que se acabó llamando “impuesto pigouviano”.

Ya en nuestro tiempo, relacionado con el “mercado de derechos de emisión”, se puede citar el “teorema de Coase”. En este, el economista Ronald H. Coase, Premio Nobel de Economía en 1991, en “The Problem of Social Cost” (Coase, 1960), establece lo siguiente: dados una asignación inicial de derechos de emisión y unos costes de transacción, los agentes involucrados tienen la capacidad para repartir el coste de la externalidad por medio de la negociación, sin apelar a la intervención estatal.

Paul Samuelson a mediados del siglo XX, en “The Pure Theory of Public Expenditure” (Samuelson, 1954), ya consideraba los bienes no privatizables. Estos bienes no privatizables tienen como característica principal la no rivalidad, esto es, que las opciones de consumo de un individuo no se ven afectadas por las cantidades ya consumidas por otros. Así, Kneese y Russell indican en su revisión de “Environmental Economics” para “The New Palgrave: A Dictionary of Economics” (Kneese & Russell,

1987), el fundamento de los aspectos medioambientales es que incluyan las externalidades y los bienes públicos. El medio ambiente, al igual que otros muchos bienes y servicios, comparte el carácter público. Esto supone ser no privatizable por ningún individuo y su oferta y precio no se rigen por las habituales leyes del mercado (ley de la oferta y la demanda), características de los bienes privados.

Al añadir una externalidad negativa a un bien público aparecen problemas nuevos, que son los comunes en la economía ambiental. A nivel de concepto es importante citar la llamada “Tragedia de los Comunes” (Hardin, 1968). Se puede tomar como ejemplo lo que sucede con unos granjeros compartiendo un trozo de pasto. Agregar más ganado puede ser de interés personal, pero conduce a la sobreexplotación, lo que impide que todos puedan pastar en el futuro. En realidad, se trata de una variante del “dilema del prisionero” de A. W. Tucker de 1950, como un problema de juego de estrategia. De nuevo, se enfrentan intereses individuales y de grupo. El caso utilizado es el de dos hombres a los que detienen yendo armados y que, además, son sospechosos de intento de robo, pero no hay pruebas que lo respalden. Si ambos se declaran culpables de tentativa de robo, ambos serán condenados a dos años de prisión. Si ninguno confiesa, ambas sentencias se reducirán a solo seis meses por posesión de un arma. Pero si uno de ellos confiesa, será puesto en libertad, mientras que el otro será condenado a hasta cinco años de prisión. Esta última es la situación más favorable para el prisionero que lo confiese, siempre que el otro esté de acuerdo en atenerse a lo mejor para ambos. Aparece así una divergencia entre el interés general y el individual. De nuevo, la libertad de elección en los bienes comunes (o públicos) puede llevar a la ruina de todos los involucrados. En el caso de estudio del presente trabajo este dilema del prisionero son las Conferencias sobre Cambio Climático (COP), en las que no se consigue llegar a acuerdos sobre la reducción de emisiones tanto en porcentaje como en total.

En un análisis más detallado sobre cuantificación de los costes de las emisiones de GEI, William Nordhaus, Premio Nobel de Economía 2018, en su libro "El Casino del Clima" (Nordhaus, 2013) indica tres pasos cruciales que deben tenerse en cuenta para atajar el problema acuciante del calentamiento global. En primer lugar, es necesario que entendamos y aceptemos la gravedad del impacto derivado del calentamiento global, tanto para la raza humana como para el planeta. En segundo lugar, deben reducirse las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mediante la entrada en vigor de medidas que las penalicen y las limiten. Por último, se debe reformar el sector energético de manera profunda, incorporando cambios tecnológicos de gran calado.

En "Introducción a la Economía Ambiental", Diego Azqueta Oyarzun (Azqueta Oyarzun et al., 2007) trata de identificar las variables que deterioran el medio natural y que tienen su origen en la actividad económica, pues a priori son la mayoría. Además, analiza los costes económicos derivados de la pérdida de los recursos naturales, degradados por la contaminación, así como las medidas destinadas a revertir este proceso. En esta misma línea se puede encontrar el análisis de la contabilidad ambiental del economista José Manuel Naredo en títulos como "Fundamentos de la Economía Ecológica" (Naredo, 1994) o "Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva" (Naredo, 2002).

Sobre la misma temática, el economista Sir Nicholas Stern asegura que los beneficios de la adopción de medidas rápidas y duraderas acerca del cambio climático superará con creces los costes de aplicación en su "Informe Stern: La Verdad sobre el Cambio Climático" (Stern, 2007). En este informe se examina la información acerca de las consecuencias económicas del cambio climático, así como explora la economía de la contención de la emisión de gases invernadero a la atmósfera. Esto incluye la gestión de la transición a una economía baja en carbono y la adaptación de las sociedades a los daños

colaterales del cambio climático que sean irreversibles. Pero con la tendencia a la expansión se puede dar un fenómeno de "free-riding" (beneficio de consumo de bienes públicos sin pagar por ellos): Estados Unidos – China con la Unión Europea en medio.

Podría decirse entonces, a la vista de la información examinada, que el cambio climático amenaza elementos fundamentales de la vida humana en diferentes partes del mundo: el acceso al agua, la producción de alimentos, la salud, el uso de la tierra y el medio ambiente. Además, estas repercusiones no se repartirán por igual, siendo los países y las poblaciones menos adelantados los que sufrirán las consecuencias de manera anticipada y con mayor gravedad.

1.3. El problema: las emisiones y la temperatura global

El CO_2 es un gas de efecto invernadero. Esto quiere decir que es un gas que absorbe e irradia el calor. La superficie terrestre y oceánica del planeta, calentada por la luz del sol, irradia constantemente calor (energía térmica infrarroja). Los gases de efecto invernadero, al contrario que el oxígeno o el nitrógeno (los que componen la mayor parte de nuestra atmósfera), absorben ese calor y lo van emitiendo gradualmente a lo largo del tiempo. Sin este efecto invernadero natural de la Tierra, su temperatura media anual estaría por debajo de 0ºC en lugar de los casi 15,5ºC que tiene actualmente. Pero el incremento de estos gases de efecto invernadero, causado por el ser humano, ha desequilibrado este sistema natural del planeta para mantener la temperatura media (Dahlman, 2019).

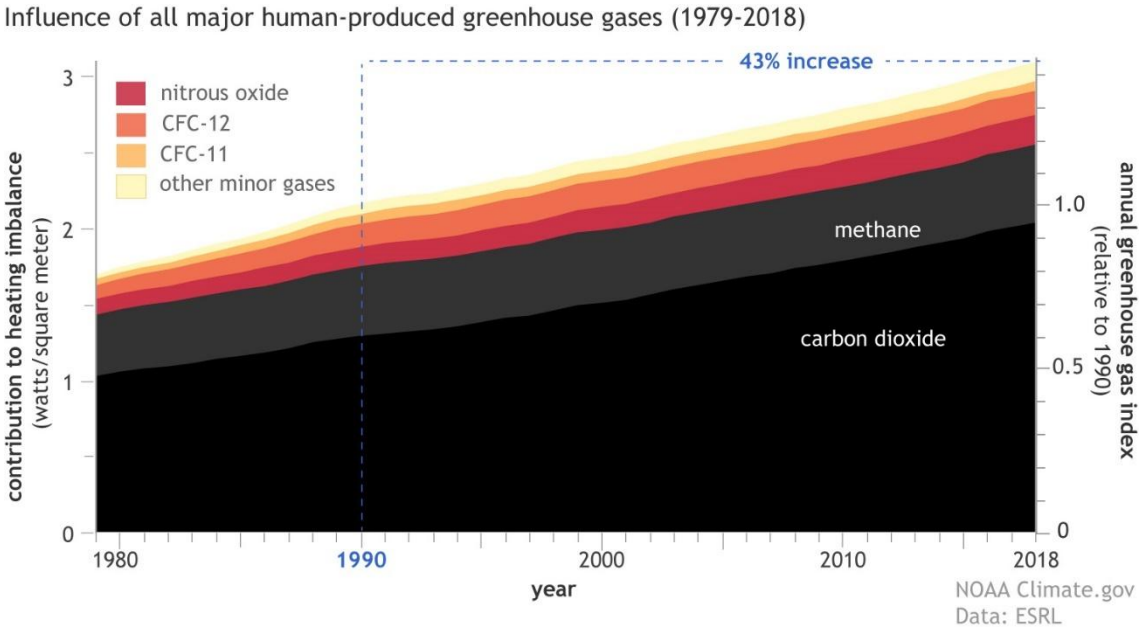
El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero de larga duración más cuantioso e importante de la Tierra. Absorbe menos calor por molécula que otros gases de este tipo, como el metano y el óxido nitroso, pero es más abundante y permanece en

la atmósfera mucho más tiempo. Además, absorbe las longitudes de onda de energía térmica que el resto de gases no absorben, lo que quiere decir que tiene un impacto en el efecto invernadero de una manera singular. El aumento de dióxido de carbono atmosférico es responsable de aproximadamente dos tercios del desequilibrio energético total que está causando el calentamiento global., según estudios de NOAA (Dahlman, 2019).

El CO_2 puede provenir de fuentes naturales, como los volcanes, la descomposición de plantas o los incendios forestales, pero permanecen en equilibrio por los sistemas naturales (Talledo, s.f.). Sin embargo, las emisiones de origen antropogénico de este gas se han visto aumentadas en los últimos años. La quema de carbón y otros combustibles fósiles son los mayores responsables (Scott & Lindsey, 2018). En la Figura 1, se puede apreciar el aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera derivados de la actividad humana. En el eje vertical izquierdo se representa el desequilibrio del calentamiento en vatios por metro cuadrado en relación con el año 1750, provocado por los principales gases de efecto invernadero de origen antropogénico. Se puede observar que la atmósfera de hoy absorbe unos 3 vatios adicionales de energía solar entrante sobre cada metro cuadrado de la superficie del planeta. En el eje vertical derecho se representa el Índice Anual de Gases de Efecto Invernadero de NOAA, que indica que la influencia conjunta del calentamiento de los gases de efecto invernadero más importantes ha aumentado en un 43% si se compara con 1990 (ver Apéndice I para ampliar información).

Figura 1

Influencia de los principales gases de efecto invernadero producidos por el hombre



Nota: NOAA - Dahlman (2019)

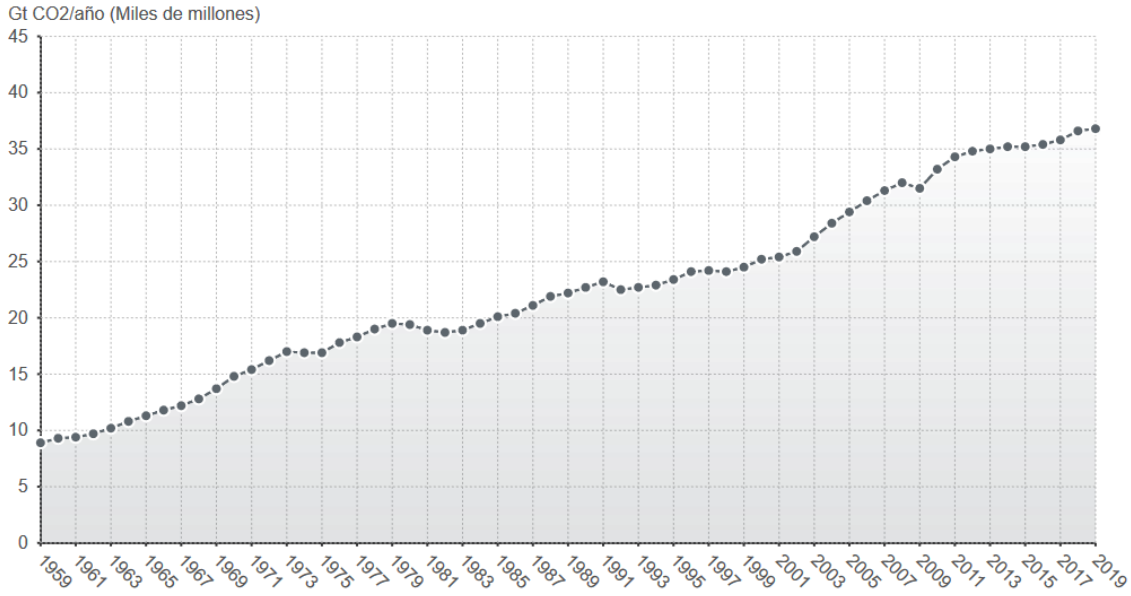
Otro motivo por la que el dióxido de carbono es relevante en el sistema de la Tierra es que se disuelve en el océano. Una vez disuelto, reacciona con las moléculas de agua, produciendo ácido carbónico y bajando el pH del océano. Desde el inicio de la Revolución Industrial, el pH de las aguas de la superficie del océano se ha reducido de 8,21 a 8,10. Esta caída en el pH se llama “acidificación del océano”. Aunque el descenso del pH parece pequeño, afecta a numerosas especies marinas (Lindsey, 2009). Esta acidificación influye sobre la reducción de la calcificación, dificultando que los organismos marinos conserven sus conchas calcáreas nuevas. Esto afecta directamente a corales, moluscos, crustáceos, equinodermos, cocolitofóridos y foraminíferos, que son las especies que requieren conchas, cáscaras, exoesqueletos y otras estructuras protectoras (GAV, 2012).

En cuanto a las emisiones de CO_2 procedentes de combustibles fósiles y de la actividad industrial, se ha producido un crecimiento desde el año 1959 hasta la

actualidad. Este aumento es casi lineal, de modo que no parece estabilizarse, tal y como puede apreciarse en la Figura 2, con datos de un estudio de “The Global Carbon Project" (The Global Carbon Project, 2018).

Figura 2

Emisiones de CO_2 procedentes de combustibles fósiles y de la actividad industrial

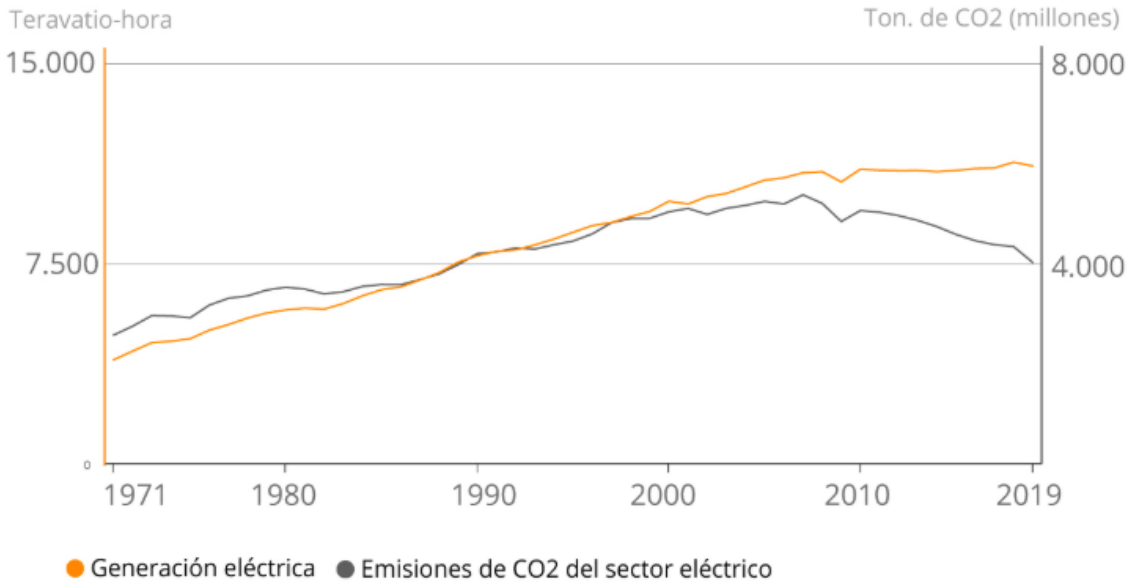


Nota: elaboración propia con datos de The Global Carbon Project - The Global Carbon Project (2018)

Parte de este aumento de emisiones se explica por el aumento de las necesidades eléctricas de la población, centradas en las economías más avanzadas. Se puede relacionar la producción eléctrica y las emisiones de CO_2 en la Figura 3.

Figura 3

Evolución de la generación eléctrica y las emisiones de CO_2 del sector eléctrico en las economías más avanzadas



Nota: elaboración propia con datos de AIE (economías más avanzadas: Australia, Canadá, Chile, UE, Islandia, Israel, Japón, Corea del Sur, México, Noruega, Nueva Zelanda, Suiza, Turquía y EE.UU.) IEA (2020)

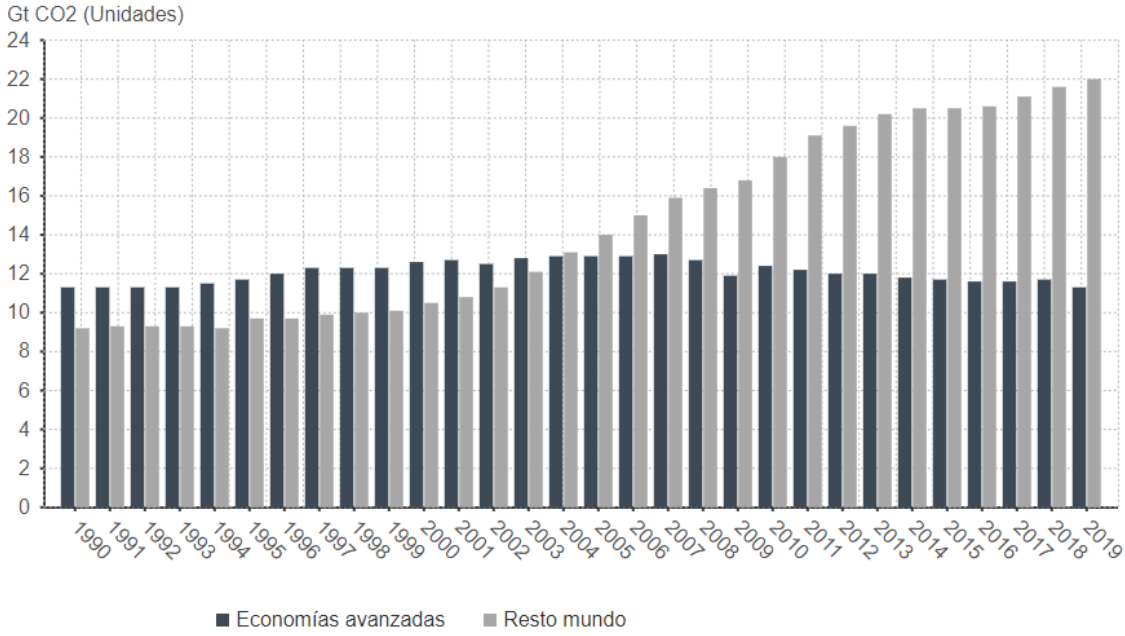
Las emisiones de CO_2 procedentes del sector energético disminuyeron hasta las 33 gigatoneladas en el año 2019, pese a que el crecimiento mundial fue de un 2,9%, atendiendo a los datos que proporciona la Agencia Internacional de la Energía (AIE, o *IEA, International Energy Agency*) (IEA, 2020).

Se trata de la primera vez que las emisiones disminuyen, coincidiendo, de hecho, con el momento en que la producción de energía eléctrica deja de crecer también y se estabiliza. Entre las posibles causas que explican el cese del incremento de la producción de energía eléctrica, la AIE expone que uno de los factores ha podido ser el clima más suave en varios países, así como un crecimiento económico ralentizado en varios de los mercados emergentes. La citada agencia determina que esta estabilización fue causada por el incremento de la presencia de las energías renovables (en su mayor

parte solar y eólica), al incremento del uso de la nuclear y a la sustitución del carbón por el gas natural (IEA, 2020). Este estancamiento se asimila a una notable disminución de las emisiones en las economías desarrolladas en el año 2019, que se equilibró con el crecimiento continuo en otras zonas menos desarrolladas y con menor aplicación de políticas medioambientales. Esto último se puede apreciar en la Figura 4.

Figura 4

Evolución de las emisiones por tipo de economía



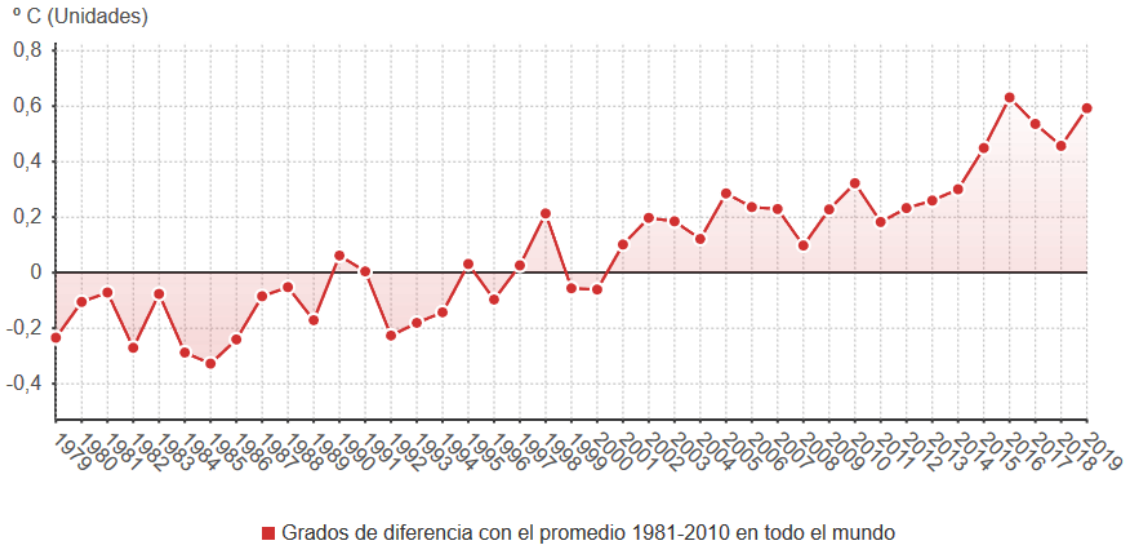
Nota: elaboración propia con datos de AIE (economías más avanzadas: Australia, Canadá, Chile, UE, Islandia, Israel, Japón, Corea del Sur, México, Noruega, Nueva Zelanda, Suiza, Turquía y EE.UU.) IEA (2020)

Los países en desarrollo y menos adelantados tienen menos recursos para tomar medidas para paliar las emisiones, pues estas suponen un alto coste. Este incremento del coste se traduciría en una menor competitividad, y este tipo de países indican este problema en los foros internacionales sobre temas climáticos (IEA, 2020).

Sobre la evolución de la temperatura media global (en promedio), se ha confeccionado una gráfica con datos del Servicio de Cambio Climático (Figura 5). Se trata de uno de los seis servicios de información telemática que proporciona Copernicus, el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea (C3S, 2020).

Figura 5

Evolución de la temperatura media mundial (diferencia con el promedio 1981-2010)

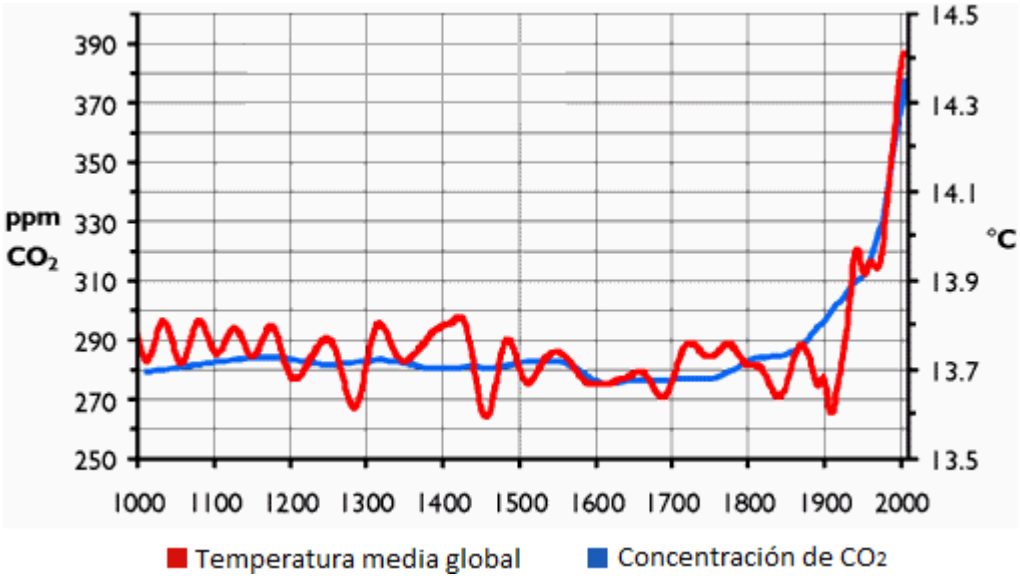


Nota: elaboración propia con datos de Servicio de Cambio Climático de Copérnico (C3S) C3S (2020)

A la vista de los datos puede decirse que el aumento del promedio de la temperatura mundial sigue la misma senda de expansión que el aumento de las emisiones de CO_2. Esta misma conclusión se desprende de los estudios de "La Economía del Clima", del FMI (Wellisz, 2019), o en el Informe de Naciones Unidas "Global Warming of 1,5ºC" (Masson-Delmotte et al., 2019). Si se dibuja en una gráfica conjunta la concentración de CO_2 y las variaciones de temperatura (relativa), se pueden apreciar las tendencias coincidentes en la Figura 6:

Figura 6

Temperatura media global y concentración de CO_2 (1100-2000)

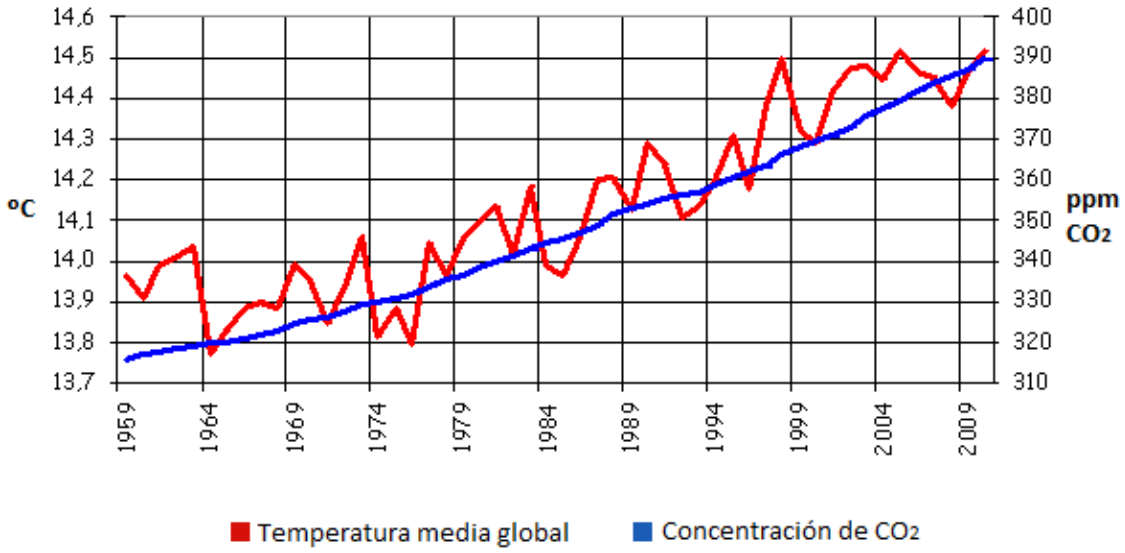


Nota: elaboración propia con datos de NASA, NOAA - NASA & GISS (2021); NOAA (2022)

El aumento pronunciado de la temperatura media y de la concentración de CO_2 se observa a mediados del siglo XIX, coincidiendo con el fin de la expansión de la Revolución Industrial, lo que podría relacionarse con la actividad humana. Si se analizan los datos más recientes con mayor nivel de detalle, se podrá apreciar en la Figura 7 que la tendencia es similar:

Figura 7

Temperatura media global y concentración de CO_2 (1959-2010)

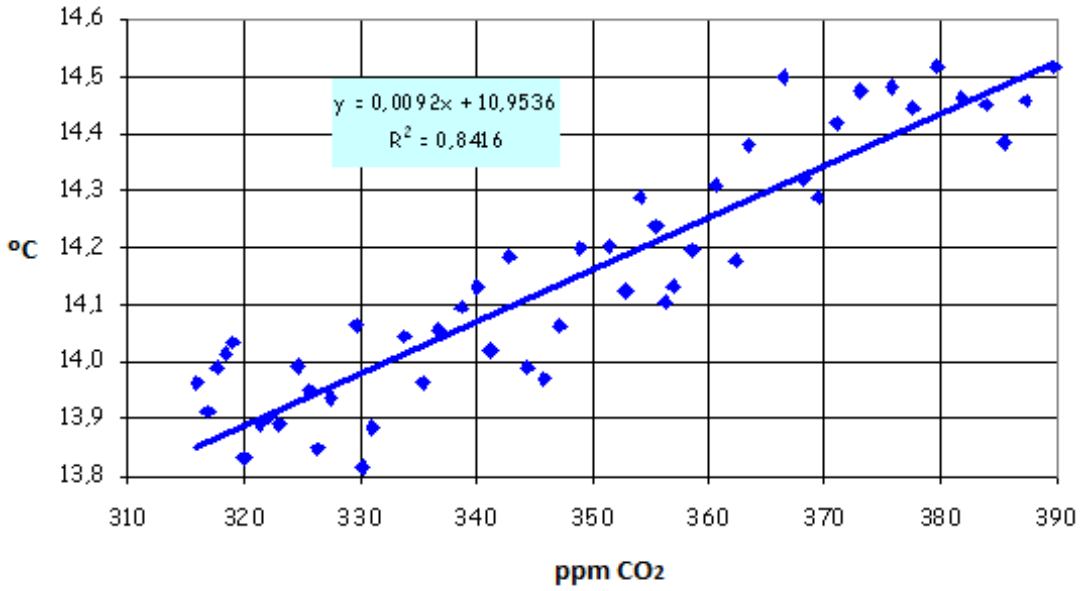


Nota: elaboración propia con datos de NASA, NOAA - NASA & GISS (2021); NOAA, (2022)

Se puede apreciar un aumento constante, casi lineal, de la concentración de CO_2. Visualmente podría decirse que el aumento de la temperatura media global sigue un patrón similar que la concentración de CO_2, pero para comprobar la correlación entre la concentración y la temperatura media global, se puede aproximar una recta de regresión a la nube de observaciones, y calcular el coeficiente de correlación (Figura 8).

Figura 8

Correlación entre temperatura media global y concentración de CO_2 (1959-2010)



Nota: elaboración propia con datos de NASA, NOAA - NASA & GISS (2021); NOAA (2022)

Dado que el coeficiente de determinación (R^2) es alto, podría decirse que el 84,16% del aumento de la temperatura media está explicado por las emisiones de CO_2. Para el período 1959-2010, según el modelo, un aumento de 10ppm significó un aumento de 0,09ºC.

1.4. La importancia del calentamiento global y su relación con las emisiones

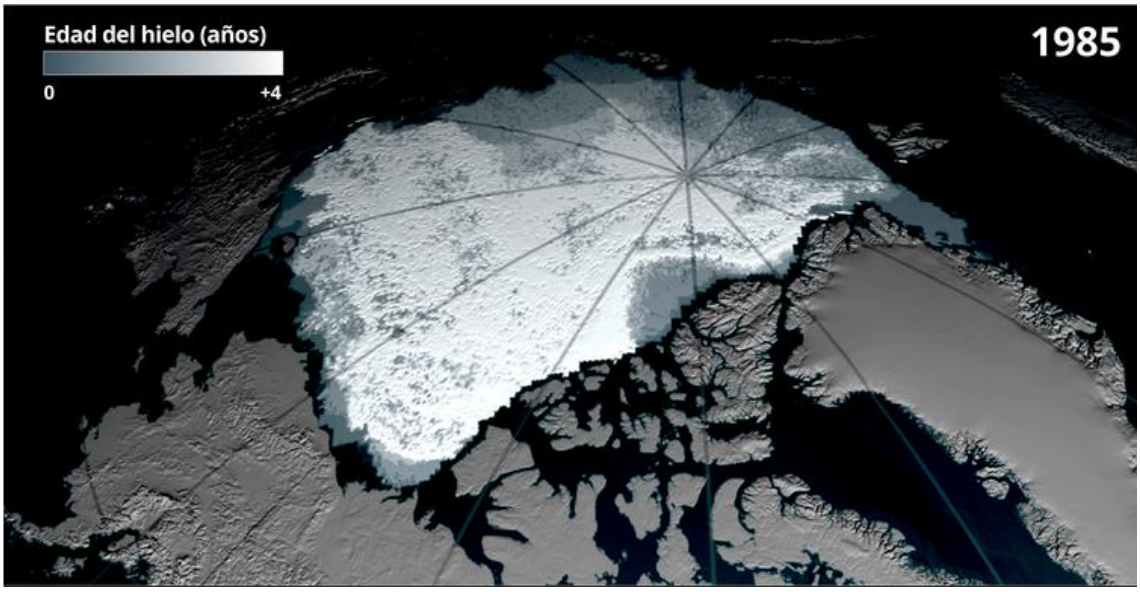
¿Por qué es tan importante la elevación de unos pocos grados en cien años? Parecería que el eventual aumento de un par de grados centígrados en un periodo largo, como un siglo, no debería afectar demasiado. Pues bien, la elevación de la temperatura de la Tierra, aunque se hable de pocos grados, afecta a la temperatura de los océanos y a

los ciclos climáticos, con las consecuencias negativas que esto tiene para cultivos, especies y nivel del mar.

En primer lugar, en las siguientes imágenes (Figuras 9 a 12) facilitadas por el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA (Ramsayer, 2020) y tomadas a la misma escala, se puede apreciar la evolución del hielo del Océano Glaciar Ártico. Estas fotos han sido tomadas cada 10 años (1985, 1995, 2005 y 2015), en concreto en el mes de septiembre, pues es el mes cuando el hielo alcanza su extensión mínima:

Figura 9

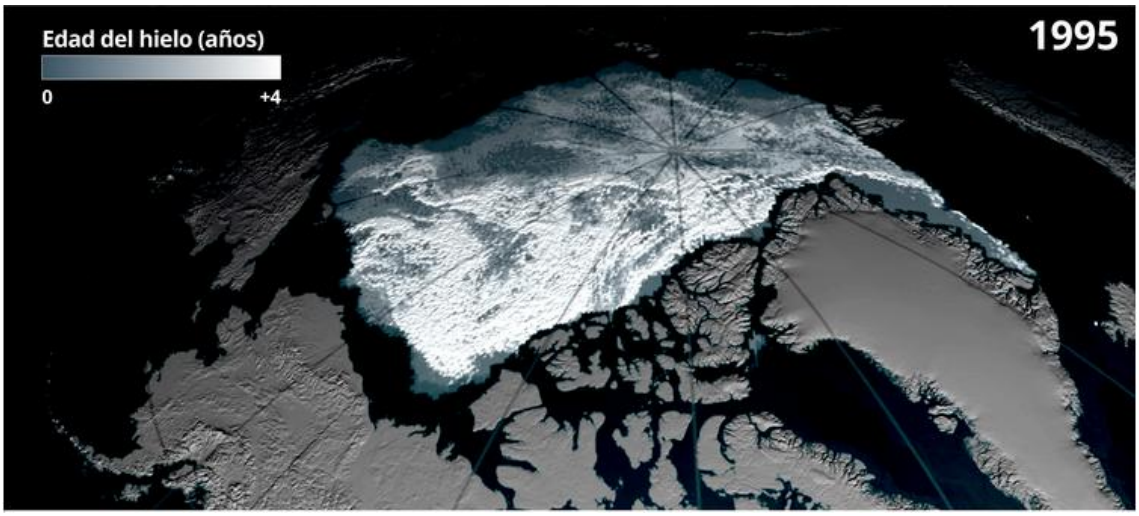
Océano Glaciar Ártico, septiembre de 1985



Nota: Centro de Vuelo Espacial Goddard, NASA - Ramsayer (2020)

Figura 10

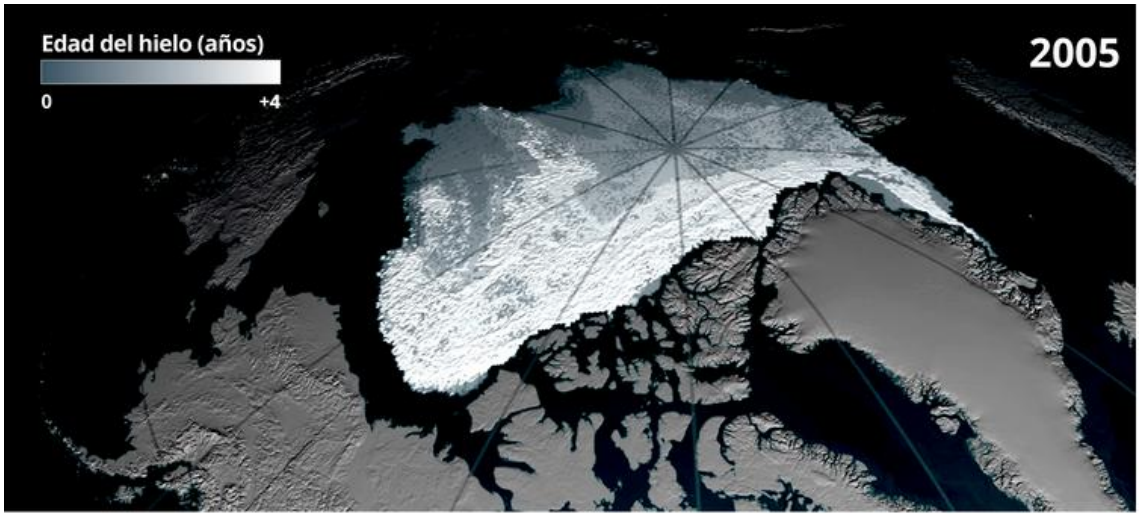
Océano Glaciar Ártico, septiembre de 1995



Nota: Centro de Vuelo Espacial Goddard, NASA - Ramsayer (2020)

Figura 11

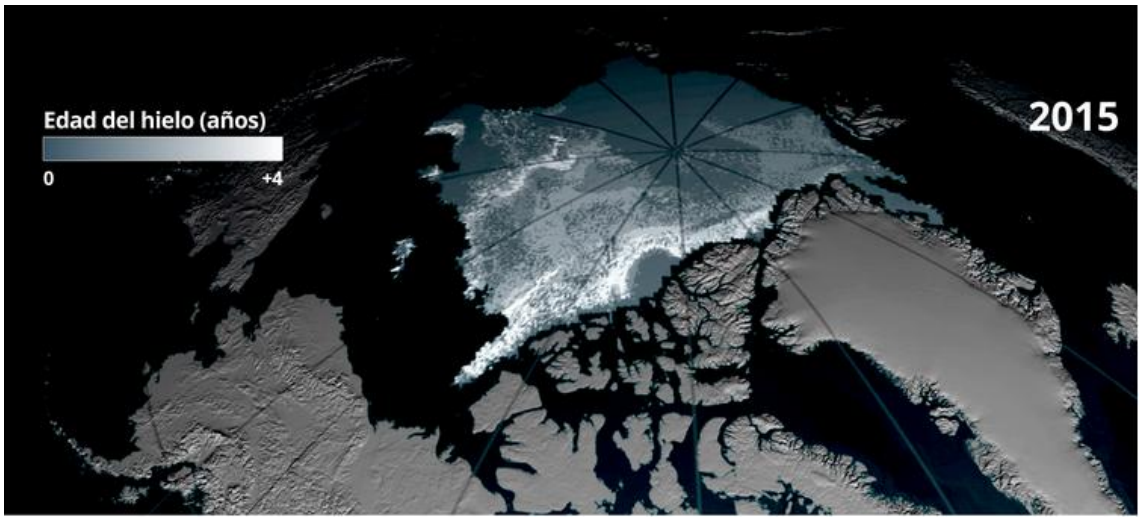
Océano Glaciar Ártico, septiembre de 2005



Nota: Centro de Vuelo Espacial Goddard, NASA - Ramsayer (2020)

Figura 12

Océano Glaciar Ártico, septiembre de 2015



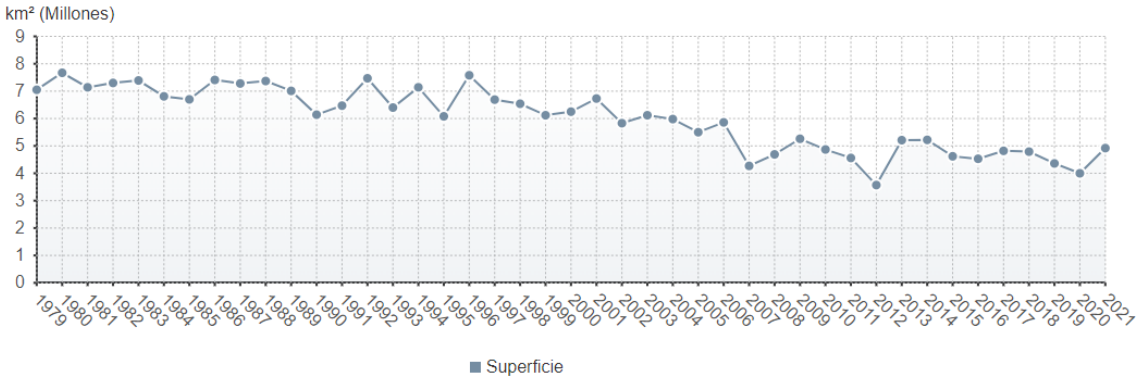
Nota: Centro de Vuelo Espacial Goddard, NASA - Ramsayer (2020)

Lo que estas figuras arrojan son dos aspectos clave: la disminución de la superficie helada y la duración del hielo, cada vez menor, en ambos casos. La disminución de la capa helada se puede apreciar visualmente al comparar las figuras, ya que la fotografía se ha realizado a misma escala y exactamente sobre el mismo terreno, abarcando la misma superficie. La edad del hielo se puede diferenciar por el matiz o color del hielo en la imagen: cuanto más blanco, más tiempo lleva formado; y cuanto más oscuro o grisáceo, más reciente es su formación.

En la Figura 13 se realiza un análisis cuantitativo sobre la pérdida de superficie de hielo del Océano Glaciar Ártico para respaldar lo mostrado en las Figuras 9 a 12 (se registra el momento de cantidad menor superficie de hielo anual). Se observa una tendencia negativa de la serie, destruyendo superficie helada. En 1979 hubo una mínima superficie de 7 millones de km^2, mientras que en 2021 la mínima superficie helada fue de 4,92:

Figura 13

Evolución del mínimo hielo marino del Ártico (en septiembre de cada año)

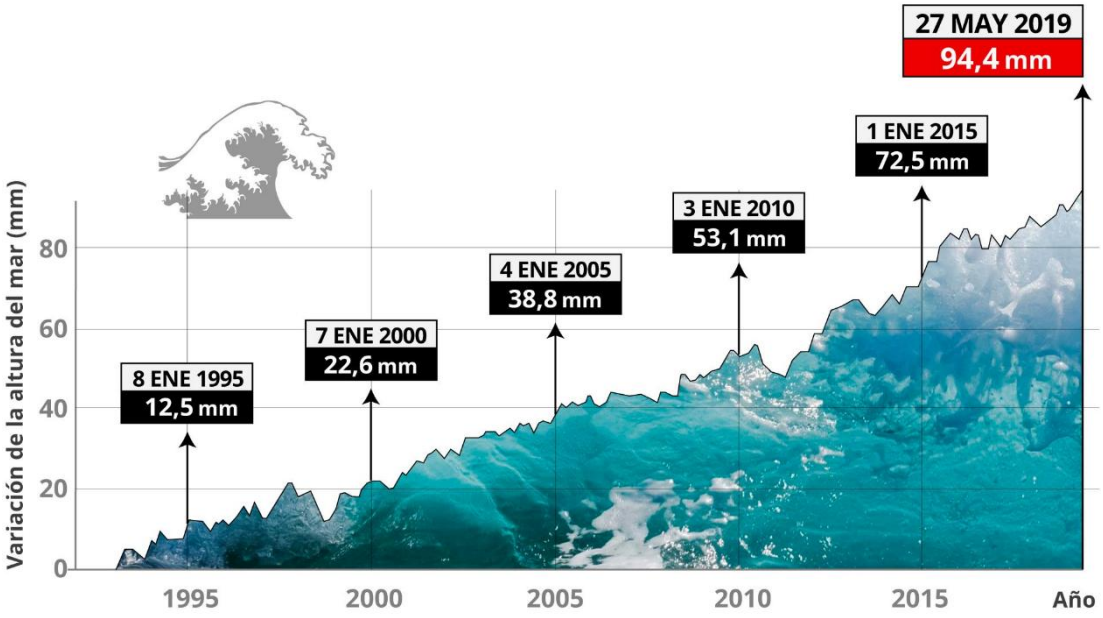


Nota: elaboración propia con datos de NASA, NSIDC - NASA & GISS (2021); NSDIC (2022)

Esto se traduce en un deshielo, cuya consecuencia inmediata es una elevación del nivel de mar, como se puede apreciar en la Figura 14. Esta gráfica se ha realizado atendiendo a datos del estudio *"Whatever Sea Level Rise Brings, NASA Will Be There"* (Lee, 2020). En ella se representa la variación de la altura del nivel del mar, tomando en año 1990 como base. Con respecto a este año, la diferencia, a 27 de mayo de 2019, era de 94,4mm.

Figura 14

Elevación del nivel del mar desde 1993

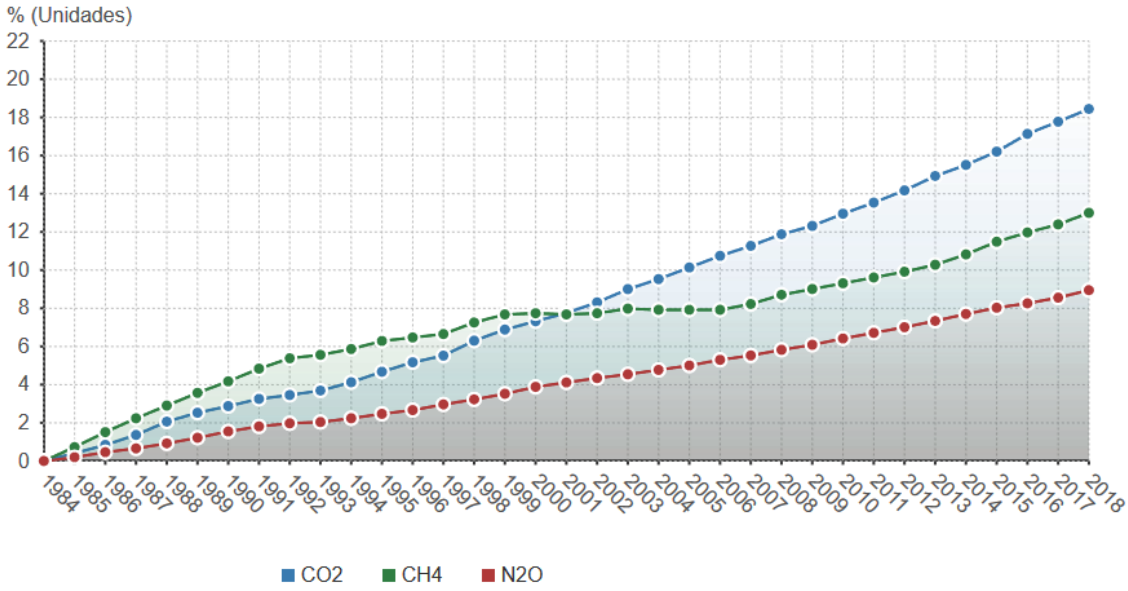


Nota: error ±4mm. Elaboración propia con datos de NASA - Lee (2020)

Y si esta variación de la altura del nivel del mar se relaciona con la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero, podrá comprobarse que, a medida que aumentan las emisiones de GEI, también lo hace el nivel del mar. En la Figura 15 puede comprobarse que el CO_2 ha aumentado un 18,4%, el CH_4 (metano) un 13%, y el N_20 (óxido nitroso), un 9%.

Figura 15

Variación de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a 1984

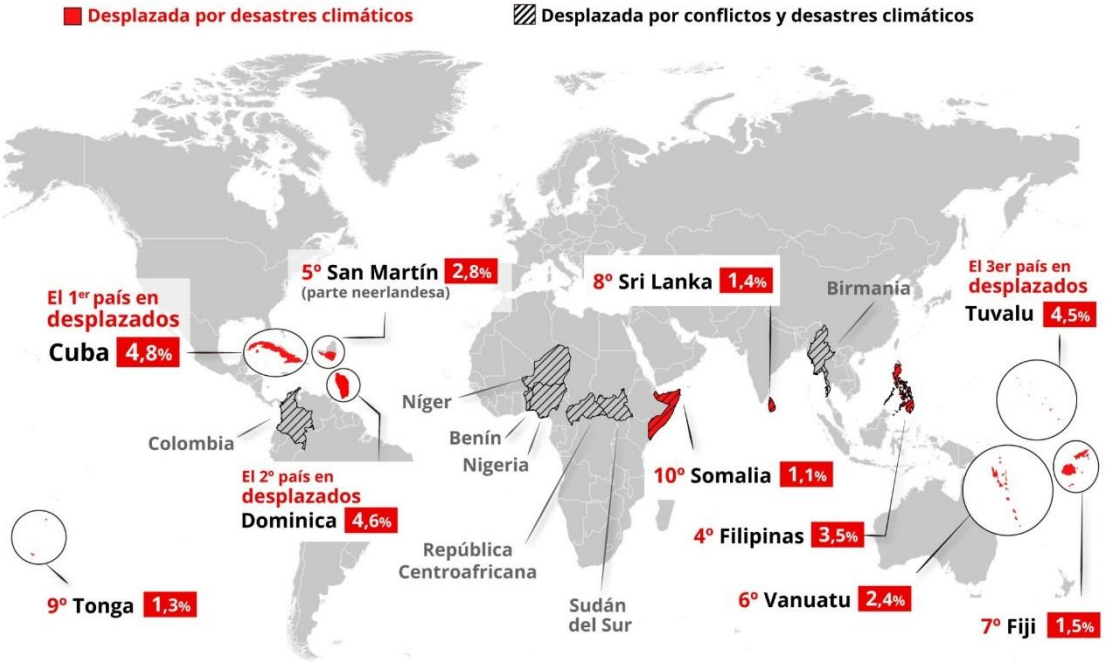


Nota: elaboración propia con datos de OMM - WMO (2022)

Pero los efectos de las emisiones de GEI, además de la elevación de la temperatura media global, o la destrucción de superficie helada y el aumento del nivel del mar, tienen otras consecuencias: las sociales. Según un informe de Oxfam-Intermón (Serramitjana Casanovas, 2019), de 2008 a 2018, los desastres provocados por adversidad climática han sido la principal causa de desplazamiento interno a nivel global. En la Figura 16 se localizan geográficamente los mayores desplazamientos en el mundo. Se aprecia que el mayor número de desplazamientos relacionados con el clima se localizan en el hemisferio sur y en países menos adelantados.

Figura 16

Los 10 países con mayores desplazamientos internos (2008-2018)

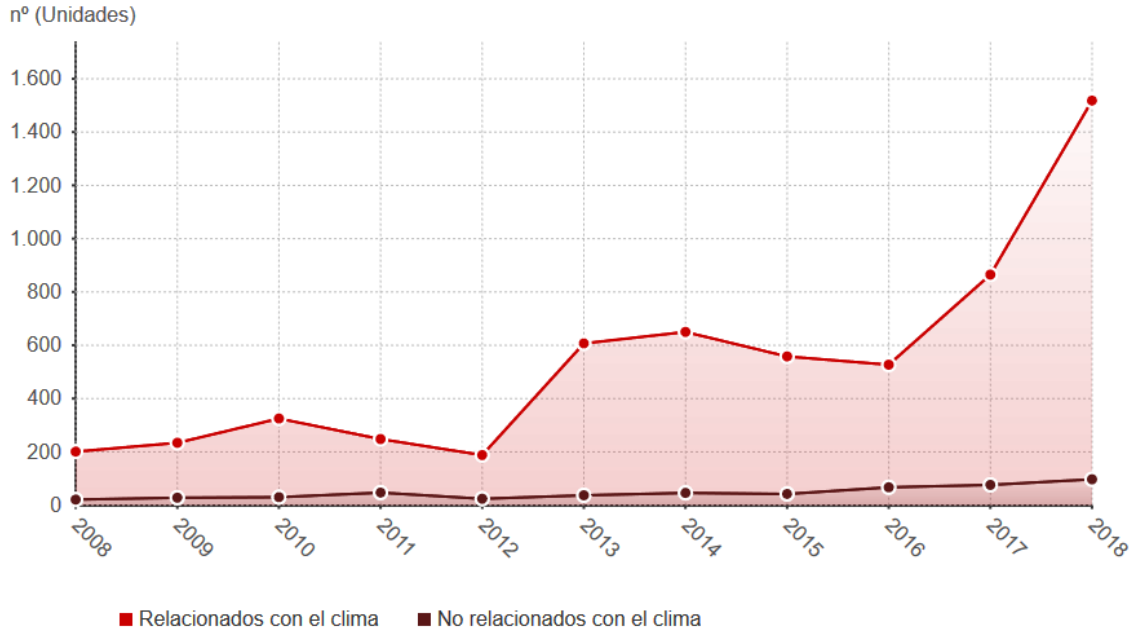


Nota: Oxfam-Intermón - Serramitjana Casanova (2019)

En ese mismo informe se recoge el número de desastres anuales consecuencia de esos desplazamientos internos de personas. Se puede observar que los desastres que están explicados por los desplazamientos internos de personas son siete veces más en 2018 que en 2008 (Figura 17).

Figura 17

Desastres por desplazamientos internos (2008-2018)

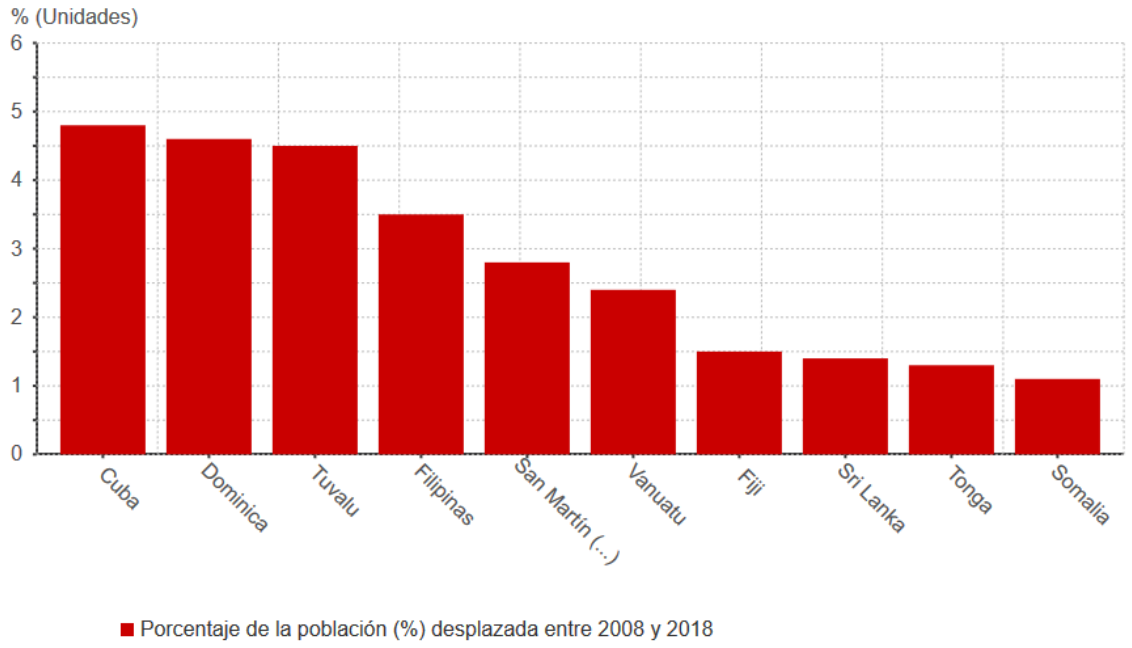


Nota: elaboración propia con datos de Oxfam-Intermón - Serramitjana Casanova (2019)

Por último, en la Figura 18 se ordenan de acuerdo al porcentaje de habitantes desplazados por efectos climáticos, los diez países con mayor movilidad interna citados previamente (Figura 16).

Figura 18

Porcentaje de población desplazada por país (2008-2018)



Nota: elaboración propia con datos de Oxfam-Intermón - Serramitjana Casanova (2019)

1.5. Justificación del estudio

La preocupación por el medioambiente es patente. Crece el interés por la conservación de nuestro entorno en la sociedad, en los Gobiernos nacionales y en las organizaciones internacionales, y así se refleja en las medidas que se están tomando.

El Acuerdo de París (COP21, Conferencia de partes número 21) y el establecimiento de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, en adelante) en la Agenda 2030 coincidieron en 2015 y viajan de la mano desde 2016. En ellos se fijan, entre otros, la acción por el clima, la protección de la vida submarina, la creación de ciudades y comunidades sostenibles, la producción y el consumo responsables, la energía asequible y no contaminante y la vida de ecosistemas terrestres (Naciones Unidas, 2023).

Los fabricantes de automóviles migran sus producciones a vehículos híbridos o eléctricos para tratar de reducir las emisiones. Los fabricantes de aviación comercial buscan la eficiencia de sus nuevos aviones y un menor consumo, para reducir tanto emisiones de GEI como ruido. Los Gobiernos dan prioridad a las energías renovables. La Unión Europea (UE, en adelante) prohíbe a partir de 2021 la venta de plásticos de un solo uso. También en la UE se determina la capacidad de ser reparados los equipos eléctricos y electrónicos para generar menos desperdicios no reciclables. Actualmente como medida orientada a la reducción de consumo de gas, que aunque sea por otros motivos tendrá su repercusión positiva en el medioambiente, se limitan las temperaturas de calefacción y aire acondicionado (EUGreenDeal, 2021c).

Se hace así necesario un trabajo como este, en el que se defina, analice y cuantifique, desde el punto de vista económico, uno de los problemas que afectan al ecosistema, como es la emisión de gases de efecto invernadero generadas por la actividad económica y productiva española. Se ha tratado, además, de analizar las medidas propuestas por el Gobierno de España, así como las del entorno de la Unión Europea.

1.6. Hipótesis de la investigación y objetivos

Objetivo principal e hipótesis de la investigación

En este trabajo se analiza cómo puede España reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero de la manera más eficiente posible, es decir, sin penalizar de manera severa su crecimiento. Y la respuesta, desde la esfera económica, es la del establecimiento de un sistema impositivo “verde”, o impuestos sobre las emisiones.

Dada la gran repercusión que tienen las emisiones de gases de efecto invernadero, este trabajo se desarrolla con el objetivo de analizar de forma cuantitativa las emisiones de gases de efecto invernadero españolas así como su impacto socioeconómico (y, de esta manera, comprobar su aportación al calentamiento global) para comprobar si las actuales medidas son efectivas, así como la proposición de medidas adicionales, con el objeto de continuar reduciendo las citadas emisiones. Esto se traduce en analizar si, vía sistema fiscal, España puede reducir aún más sus emisiones para cumplir con el "Net Zero" de la UE sin penalizar su crecimiento.

Objetivos parciales

Adicionalmente y como objetivos específicos, se encuentran los siguientes:

- Analizar las políticas medioambientales españolas actuales.
- Analizar el marco europeo para la protección ambiental.
- Analizar las medidas adicionales para la reducción de los gases de efecto invernadero.
- Analizar el mercado de derechos de emisión.
- Modelizar distintos escenarios impositivos al carbono, con diferentes usos de la recaudación y a diferentes plazos para comprobar el impacto en el crecimiento y en la emisión de CO_2.

1.7. Estructura

Una vez enmarcado el problema y vista la necesidad de un estudio como este, el trabajo está estructurado en tres capítulos. El capítulo 2, a continuación de este epígrafe, detalla el marco teórico del estudio. En él se analizan las emisiones por sectores de actividad de la economía española para comprobar cuál o cuáles son los más contribuyentes a este indeseado efecto. A continuación, se revisa el impacto de la

reducción drástica de la actividad económica por la pandemia de la COVID-19, donde se puede comprobar una vez más que la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero son antropogénicas. Después se explica qué son los mercados de derechos de emisión y cómo funcionan, centrándose en el mercado europeo, con la finalidad de saber la tasa de derechos gratuitos, su reducción paulatina y el aumento de los precios de emisión. Para terminar, se introduce la política del "pacto verde" o "green deal" europeo, con la que se pretende que la UE sea una economía de emisiones netas cero en 2050 (sectores emisores son mitigados por sectores destructores de emisiones, como la agricultura, por ejemplo).

En el capítulo 3 se establece el marco empírico del estudio, en el que se aplica el modelo. Se establecen los objetivos del estudio, que es la modelización del impacto a 30 años de distintas cuantías de impuestos por emisiones (10, 20 y 30€/Tm) para comprobar el impacto sobre las emisiones de las penalizaciones impositivas. Después se detalla el diseño del modelo, explicando el funcionamiento y las ecuaciones principales para comprender la estimación. A continuación, una vez hecha la predicción, se compara con las medidas actuales que aplica el gobierno, y se proponen unas nuevas. Para finalizar se analizan los resultados del estudio de aplicación del Modelo, dado que es la parte plenamente experimental de la Tesis; los resultados del Análisis de las medidas actuales y nuevas propuestas se presentan seguidamente a dicho análisis. En el capítulo 4 se hace una comparativa y discusión de los resultados de aplicación del modelo, teniendo en cuenta otros estudios similares. Una vez hecho esto se exponen las conclusiones generales del trabajo, se explican las limitaciones al estudio y se proponen futuras líneas de investigación relacionadas con este tema.

CAPÍTULO 2. Marco Teórico

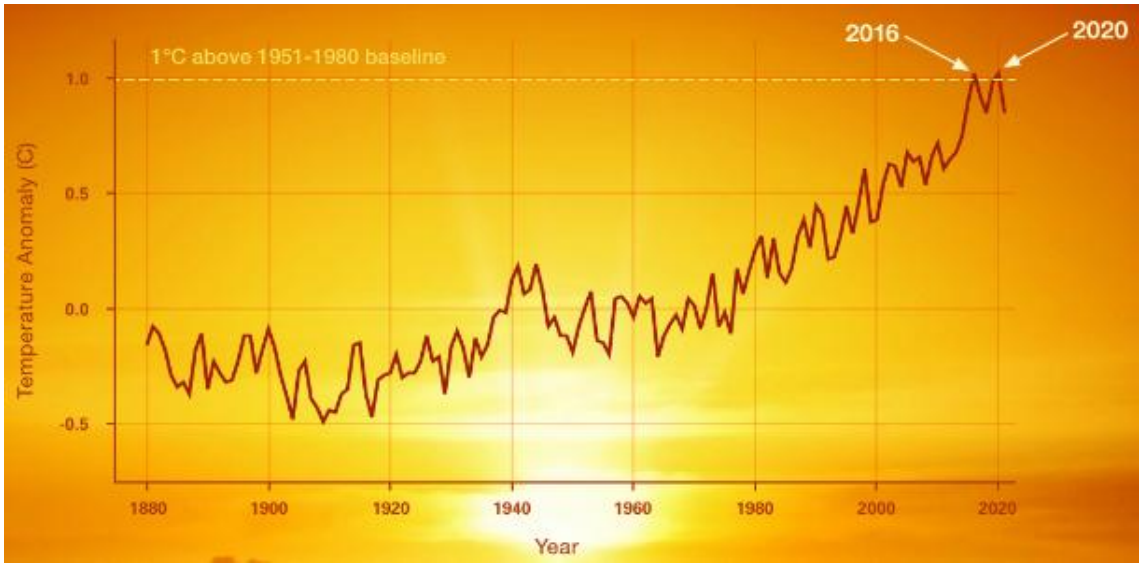
2.1. Análisis general introductorio

Tal y como se adelantó en el capítulo 1, l calentamiento global es el aumento a largo plazo de la temperatura de la superficie terrestre medido desde la era preindustrial (entre 1850 y 1900) causado por la actividad humana, principalmente la quema de combustibles fósiles. Esto aumenta los niveles de gases de efecto invernadero que atrapan el calor en la atmósfera terrestre. El término no es sinónimo de "cambio climático" (Climate Analytics & Next Climate Institute, 2019).

Se estima que la actividad humana ha aumentado la temperatura global promedio en aproximadamente 1 grado Celsius (1,8 grados Fahrenheit) desde la época preindustrial, y ahora es de 0,2 grados Celsius (0,36 grados Fahrenheit) cada década. más y más. La Figura 19 muestra la tendencia actual de calentamiento. Este es claramente el resultado del trabajo hecho por el hombre desde la década de 1950 y está progresando a un ritmo sin precedentes (NASA, 2022).

Figura 19

Cambio en la temperatura de la superficie de La Tierra, relativa a las temperaturas medias del período 1951-1980



Nota: NASA (2022)

El cambio climático es una modificación en los patrones del clima en el largo plazo y en promedio que han definido los climas locales, regionales y globales de la Tierra. Estas modificaciones tienen una amplia variedad de consecuencias observadas que son sinónimos de este concepto (NASA, 2022).

Los cambios antes mencionados observados en el clima de la Tierra desde mediados del siglo XX, causados por la actividad humana, particularmente la quema de combustibles fósiles, están aumentando la cantidad de gases de efecto invernadero en la Tierra que extraen calor de la atmósfera, aumentando su impacto temperatura media (en la superficie).

Los procesos naturales, que han sido superados por las actividades humanas, también pueden ser un añadido al cambio climático, incluida la variabilidad interna (patrones oceánicos cíclicos como la Oscilación Decenal del Pacífico, El Niño y La

Niña) y fuerzas externas (cambios en la producción energética del Sol, actividad volcánica, las modificaciones en la órbita terrestre) (NASA, 2022).

Los científicos observan y recogen datos desde la tierra, el aire y el espacio, y los aplican a modelos informáticos con el objetivo de monitorizar, estudiar y tratar de explicar el cambio climático que se produjo en el pasado, el que se está produciendo en el presente y los posibles efectos futuros. Los registros de datos climáticos brindan pistas sobre indicadores clave del cambio climático, tales como aumento de las temperaturas globales de la tierra y el mar; aumento del nivel del mar; reducción de los casquetes polares y masas heladas glaciares; cambios en la frecuencia y gravedad de los fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes, olas de calor, incendios forestales, sequías, inundaciones y precipitaciones; variación de la nubosidad y la vegetación (NASA, 2022).

Durante los últimos cien años, la quema de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo ha aumentado la concentración de CO_2 en la atmósfera. Este aumento es causado por el proceso de combustión del carbón o del petróleo, donde el carbono se combina con el oxígeno del aire para formar dióxido de carbono. En menor medida, la limpieza de tierras para la agricultura (deforestación), la industria y otras actividades humanas está aumentando las concentraciones de gases de efecto invernadero (NASA, 2022).

Las actividades de carácter industrial de las que depende la civilización moderna han aumentado los niveles de CO_2 en la atmósfera en casi un 50 % desde 1750. Este aumento se debe a las actividades humanas, porque los científicos pueden ver una huella isotópica distintiva en la atmósfera (NASA, 2022).

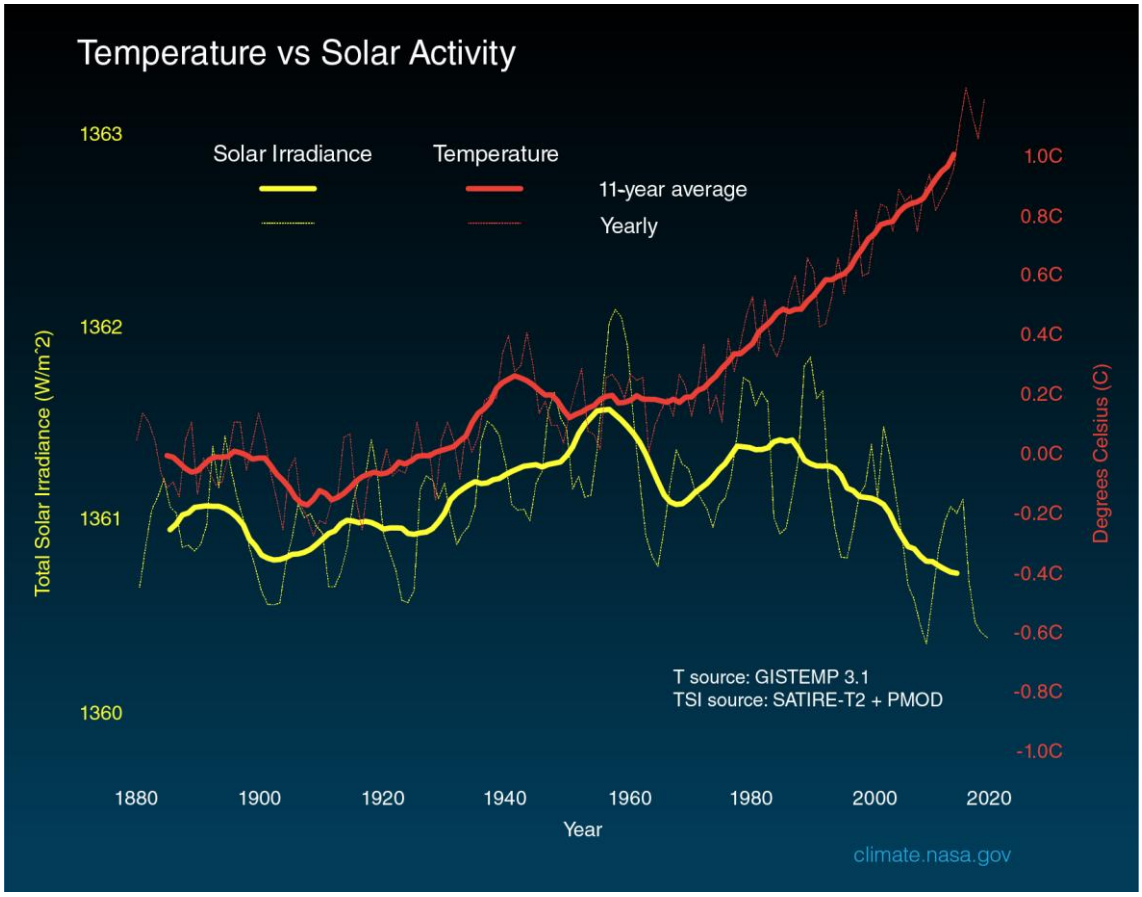
Los científicos usan una métrica llamada Irradiación Solar Total (Total Solar Irradiance - TSI) para medir los cambios en la energía que la Tierra recibe del Sol. TSI incluye ciclos solares de 11 años y erupciones/tormentas solares de la superficie del Sol. (NASA, 2022).

Los datos muestran que las oscilaciones solares han jugado un papel importante en el cambio climático del pasado. Por ejemplo, la disminución de la actividad solar combinada con el aumento de la actividad volcánica desencadenó la Pequeña Edad de Hielo (NASA, 2022).

Pero hay más evidencia de que el calentamiento global actual no puede explicarse por cambios en la energía solar. En la Figura 20 se puede observar la tendencia de la irradiación solar y la tendencia de la temperatura en superficie terrestre (NASA, 2022):

Figura 20

Comparación de la tendencia de la temperatura en superficie de La Tierra y la energía que recibe procedente de El Sol



Nota: NASA (2022)

De esta manera se ve necesario un estudio detallado para tratar de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para intentar paliar el aumento de la temperatura global, pues parece la principal causa que propicia el cambio climático.

En este apartado se analizarán las emisiones de la economía española. Para respaldar que estas emisiones son antropogénicas, también se hará un breve estudio del impacto en las emisiones del confinamiento provocado por la COVID19 y la práctica detención de la actividad económica. Después de este análisis se hará una breve discusión de los resultados obtenidos en la investigación. Posteriormente se detallará el

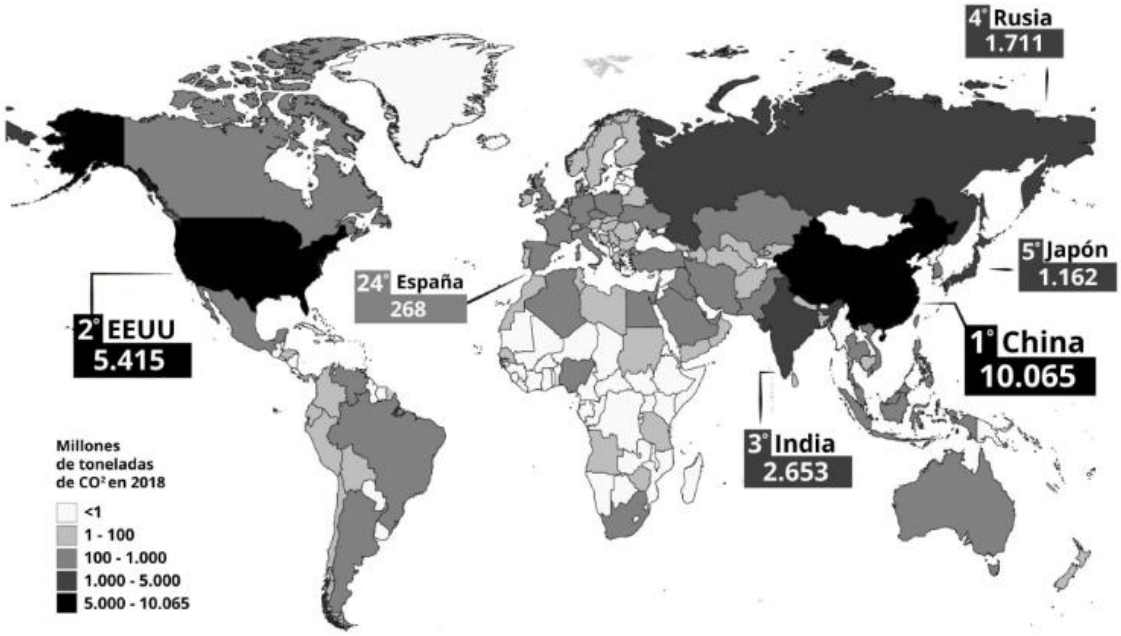
marco legal sobre emisiones en la UE. Siguiendo en esta línea y abundando en el marco legal, este apartado concluirá con las medidas generales que está adoptando la UE para frenar las emisiones y el cambio climático.

2.2. Las emisiones de la economía española

Atendiendo a datos de 2018, España se encuentra entre los 25 países del mundo con más emisiones de CO_2 procedentes de combustibles fósiles (Figura 21) (The Global Carbon Project, 2018).

Figura 21

Los 30 países con mayores emisiones de CO_2 procedentes de combustibles fósiles (en millones de toneladas, 2018)

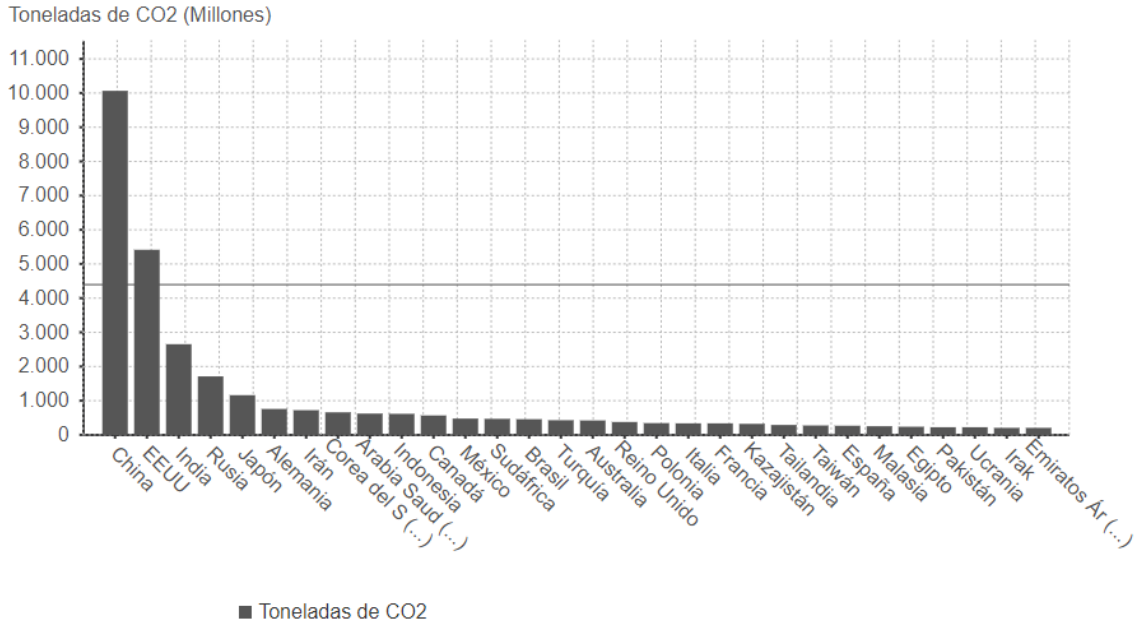


Nota: The Global Carbon Project (2018)

Si se cuantifica, China (el más contaminante) emitió 10.065 millones de toneladas de CO_2 y España, 267,5 millones (Figura 22).

Figura 22

Los 30 países con mayores emisiones de CO_2 procedentes de combustibles fósiles (en millones de toneladas) - datos

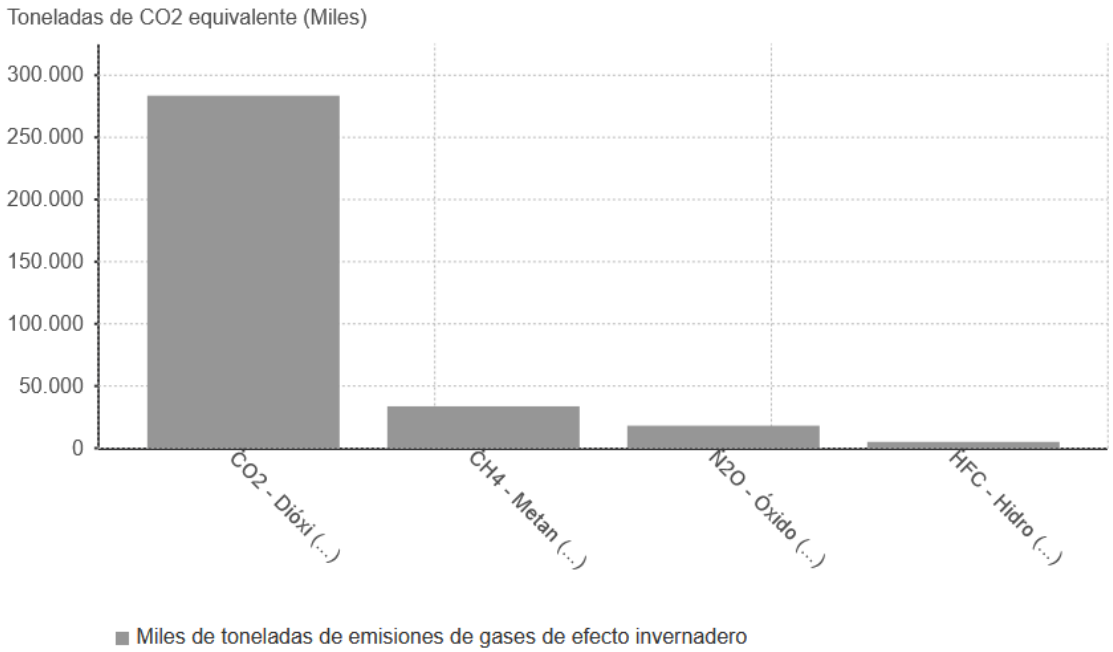


Nota: elaboración propia con datos de The Global Carbon Project (2018)

Según datos para 2018 del INE (INE, 2019a), los principales GEI que emite la economía española son el CO_2 (283,5 millones de toneladas), el N_2O (18 millones de toneladas) y el CH_4 (33,6 millones de toneladas). Los hidrofluorocarbonos (HFC) supusieron una menor cantidad que los anteriores (5 millones de toneladas). Gráficamente está representado en la Figura 23:

Figura 23

Principales gases de efecto invernadero que emitió España en 2018

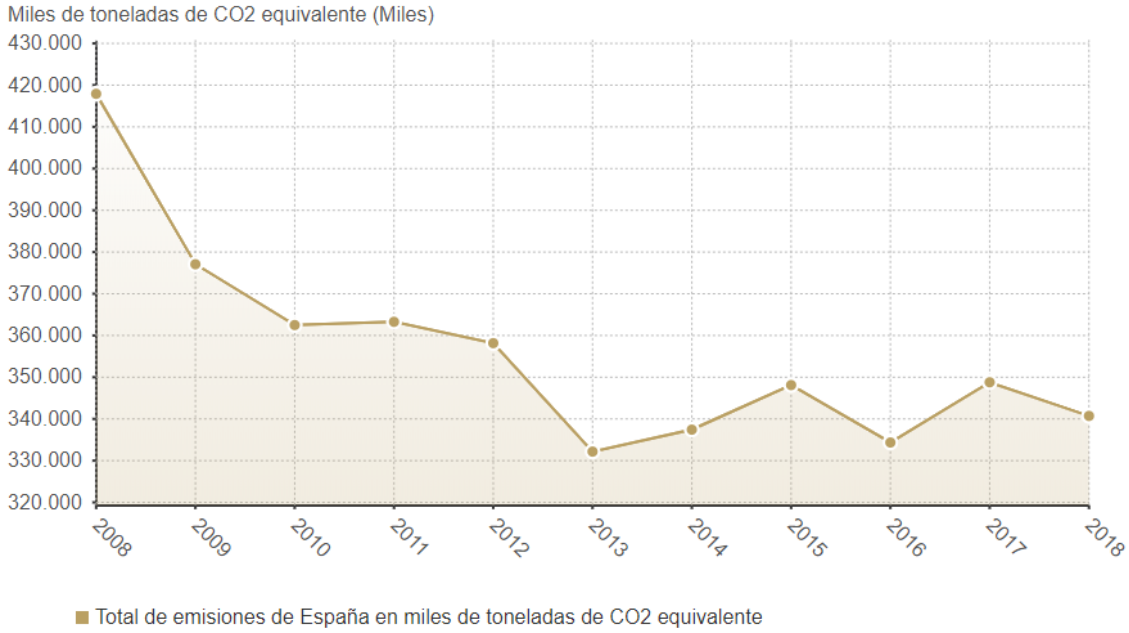


Nota: elaboración propia con datos INE (2019a)

La buena noticia es que la economía española emitió 340,7 millones de toneladas de gases de efecto invernadero en 2018. Si se compara con 2017, esto supone un 2,3% menos, atendiendo a datos del Avance de la Cuenta de Emisiones a la Atmósfera del INE (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019). En esta cuenta se registran las emisiones realizadas por todas las unidades económicas residentes, ya sea en el territorio económico español, ya sea fuera de él. En la Figura 24 se puede comprobar la evolución de las emisiones de la economía española del año 2008 al año 2018 (INE, 2019a).

Figura 24

Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero de la economía española (en miles de toneladas, 2008-2018)

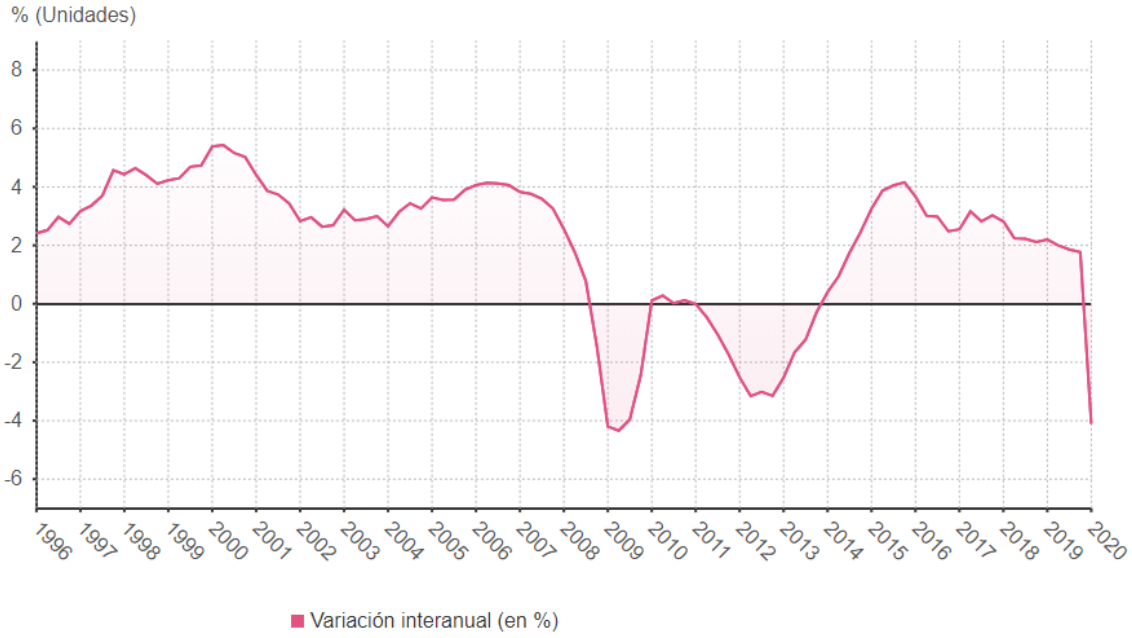


Nota: elaboración propia con datos de INE (2019a)

La caída de las emisiones desde 2008 puede explicarse, en parte, por el retroceso de la actividad económica debido a la crisis de 2007. Esto se puede observar en la evolución del PIB español (INE, 2019b), representada en la Figura 25.

Figura 25

Evolución del PIB de la economía española (1996-primer trimestre 2020)



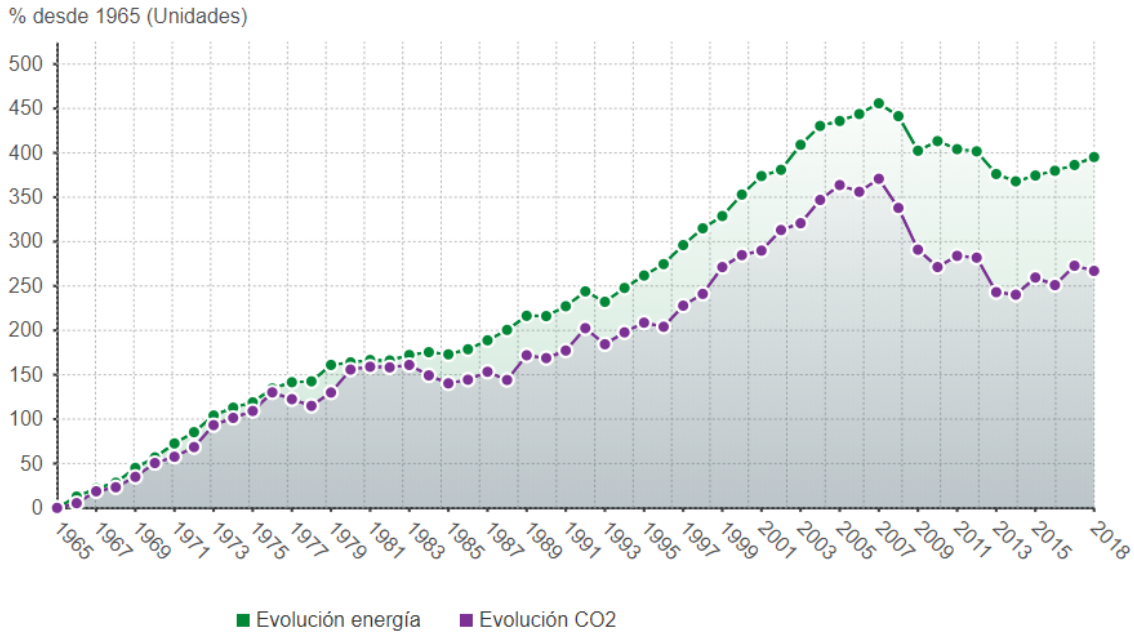
Nota: elaboración propia con datos de INE (2019b)

Podría decirse a priori que los dos tramos de caída de las emisiones (Figura 24) de 2009 y 2013 coinciden con los mayores retrocesos porcentuales del PIB (Figura 25), pues suceden en los mismos periodos. También podría decirse, por el mismo motivo, que el leve aumento de estas emisiones en 2015 coincide con la recuperación económica.

Si además se enlaza la variación porcentual de emisiones y la del consumo energético en España de 1965 a 2018 (BP, 2019), podremos apreciar también las dos caídas en 2009 y 2013, y el leve repunte en 2015. Esto puede comprobarse en la Figura 26.

Figura 26

Aumento del consumo de energía y emisiones de CO_2 en España (1965-2018)



Nota: elaboración propia con datos de BP Statistical Review of World Energy, 2019 - BP (2019)

Además, atendiendo a la nota informativa sobre las emisiones de GEI correspondientes a 2018 que elabora la Secretaría de medio ambiente, perteneciente al Ministerio para la Transición Ecológica (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019) la disminución de las emisiones de 2018 (con respecto a 2017) fue del 2,2%. Esta disminución se explica por el descenso de las emisiones por generación eléctrica (-15,7%), dada la aportación de la energía hidráulica (2018 fue un año hidrológicamente húmedo, con lo que se produjo un 84,9% más que en 2017) y de la eólica (aumento del 3,5% con respecto a 2017).

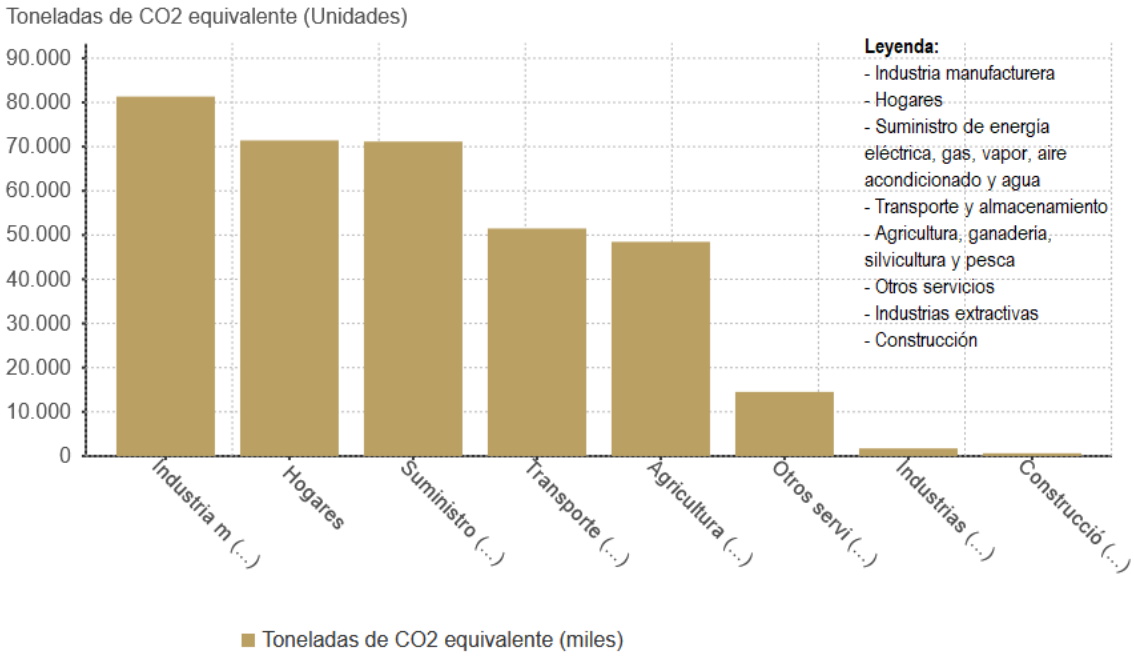
En cambio, la disminución de emisiones del sector eléctrico se ha visto contrarrestada por aumentos en el resto de sectores emisores. Debido al aumento del PIB (2,6% de aumento con respecto a 2017), las emisiones debidas al transporte aumentaron un 2,8%; las del sector residencial-comercial-institucional (RCI, en

adelante) crecieron un 1,9%; las debidas al consumo de combustibles para maquinaria agrícola, forestal y pesquera aumentaron un 4,1%; las emisiones procedentes de la industria aumentaron un 2% y la agricultura permanece invariable (aumento de 1,4% por parte de la ganadería y disminución de un 2,5% desde los cultivos) (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019).

Profundizando en la economía española, el análisis por sectores vierte los datos resumidos en la Tabla 1 (INE, 2019b), que se encuentra en el Apéndice II. Para facilitar la interpretación, se ha generado un diagrama de barras con cantidades brutas (Figura 27) y un diagrama de sectores con datos porcentuales (Figura 28) con los datos de la Tabla 1. Se puede observar que los principales contribuyentes a las emisiones de CO_2 son la industria manufacturera, los hogares y el suministro de energía, seguido de transporte y el sector primario. Nótese como la construcción no aporta prácticamente emisiones de CO_2, a pesar de su importancia en proporción del PIB.

Figura 27

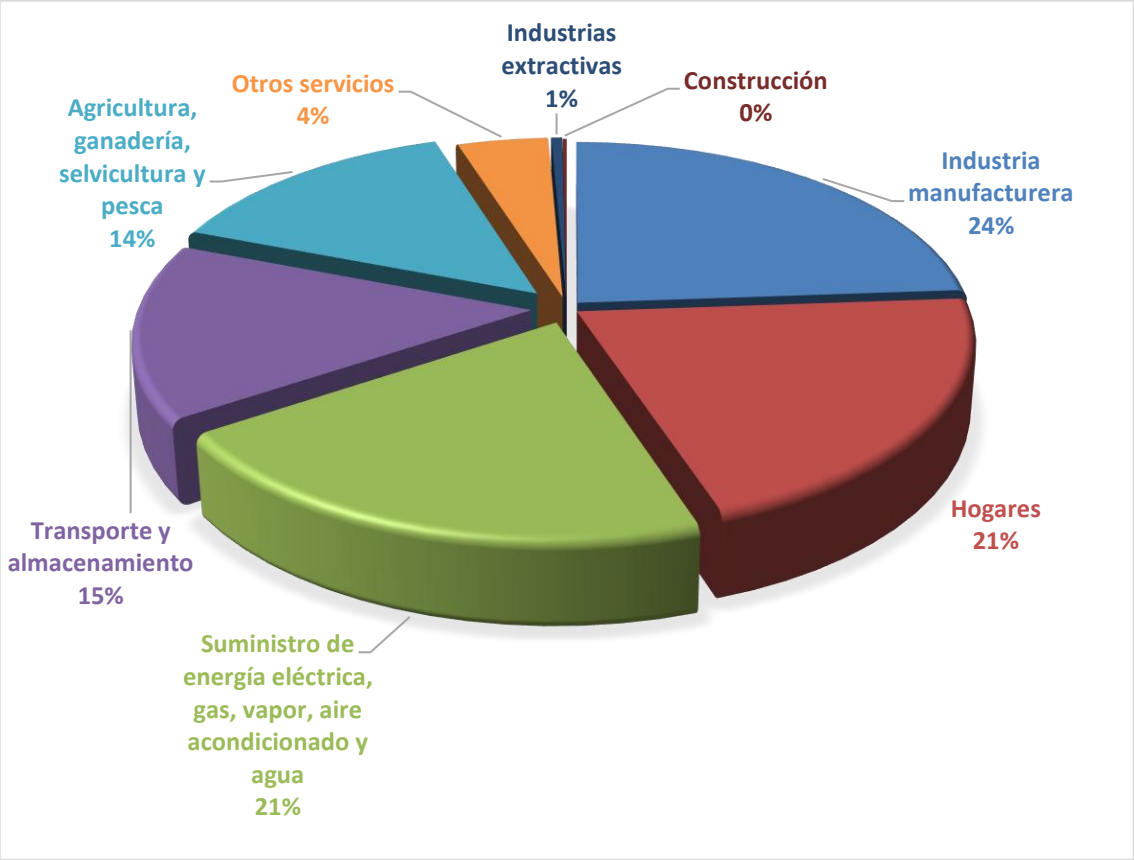
Gráfica de emisiones por sectores de la economía española (2018)



Nota: elaboración propia con datos de INE (2019b)

Figura 28

Peso de emisiones por sectores de la economía española (2018)



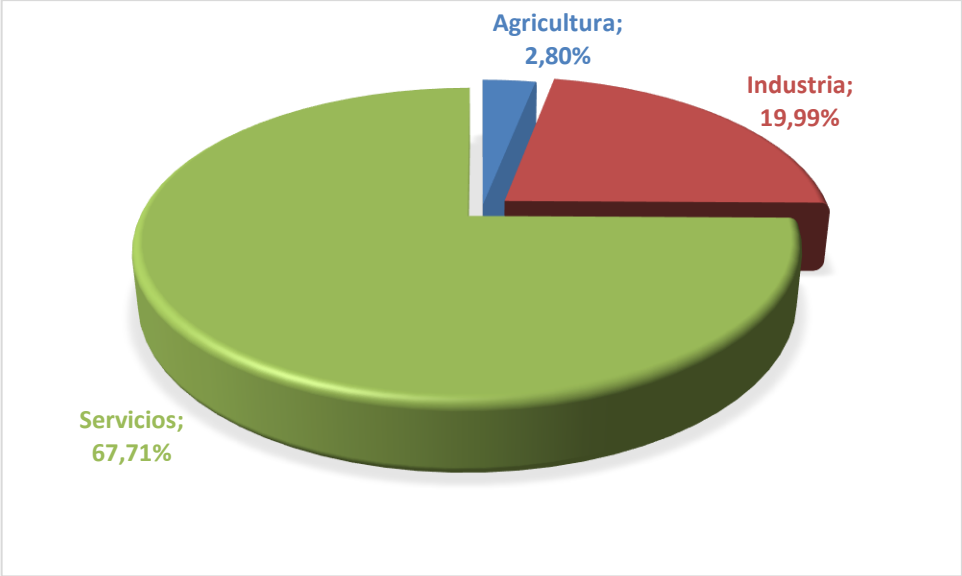
Nota: elaboración propia con datos INE (2019b)

En 2018, los pesos con respecto al PIB de los sectores productivos españoles eran los reflejados en la Tabla 2 (Apéndice III) y en el diagrama de sectores de la Figura 29 (INE, 2019b). Llama la atención cómo el sector primario, siendo el de menor peso, es responsable del 14% de las emisiones de GEI.

La clave se encuentra aquí: la generación energética ya ha hecho gran parte de la descarbonización, pero el problema se encuentra en el transporte y en la edificación.

Figura 29

Pesos de los sectores económicos con respecto al PIB (España, 2018)



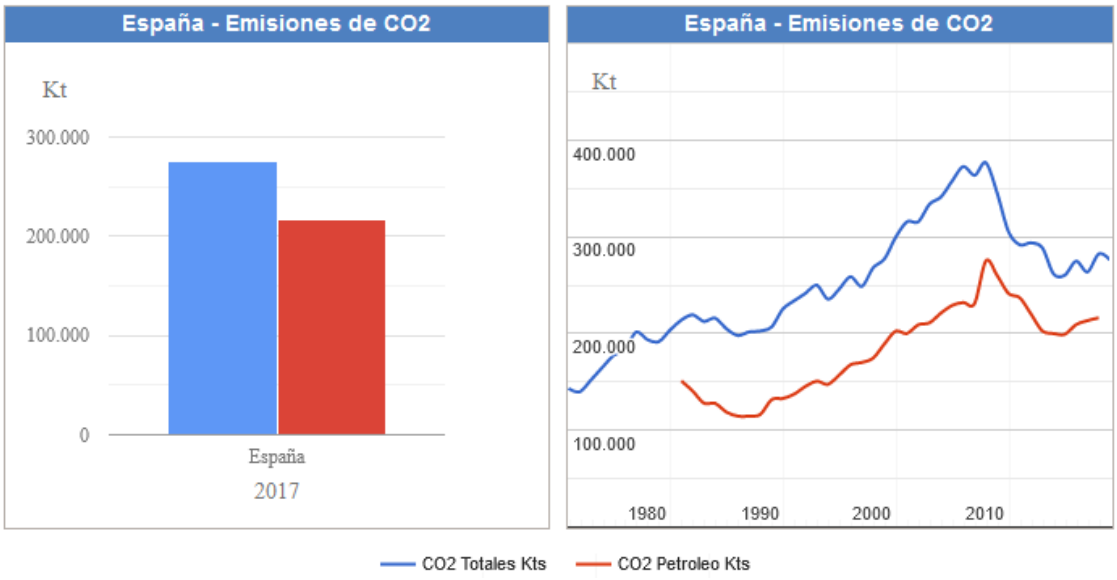
Nota: elaboración propia con datos INE (2019b)

Si se cuantifican por separado las emisiones de CO_2 explicadas por el uso del petróleo (Apéndice II y figura 29, ambas con datos del Inventario Nacional de GEI, y Apéndice XVIII) y se comparan con las emisiones totales de CO_2, se puede apreciar que una gran parte de las emisiones de CO_2 pertenecen a la quema de este combustible. Desde el mínimo porcentaje, en 1985, de casi el 58%, hasta el máximo porcentaje, en 2016, de casi el 81%, para el período 1980-2017, el porcentaje medio de emisiones de CO_2 procedentes del petróleo es de casi el 67%, como se refleja en la Figura 30 (MITECO, 2020).

Pero hay que anotar que el sector LULUCF (land use, land-use change, forestry, en inglés; o uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y selvicultura, UTCUTS) es netamente destructor de emisiones y no se tiene en cuenta para la contabilidad ambiental. Esto supone una infravaloración de 34,8 millones de toneladas de CO_2 equivalente absorbidas (INE, 2022).

Figura 30

Emisiones de CO_2 totales y emisiones de CO_2 por petróleo en España

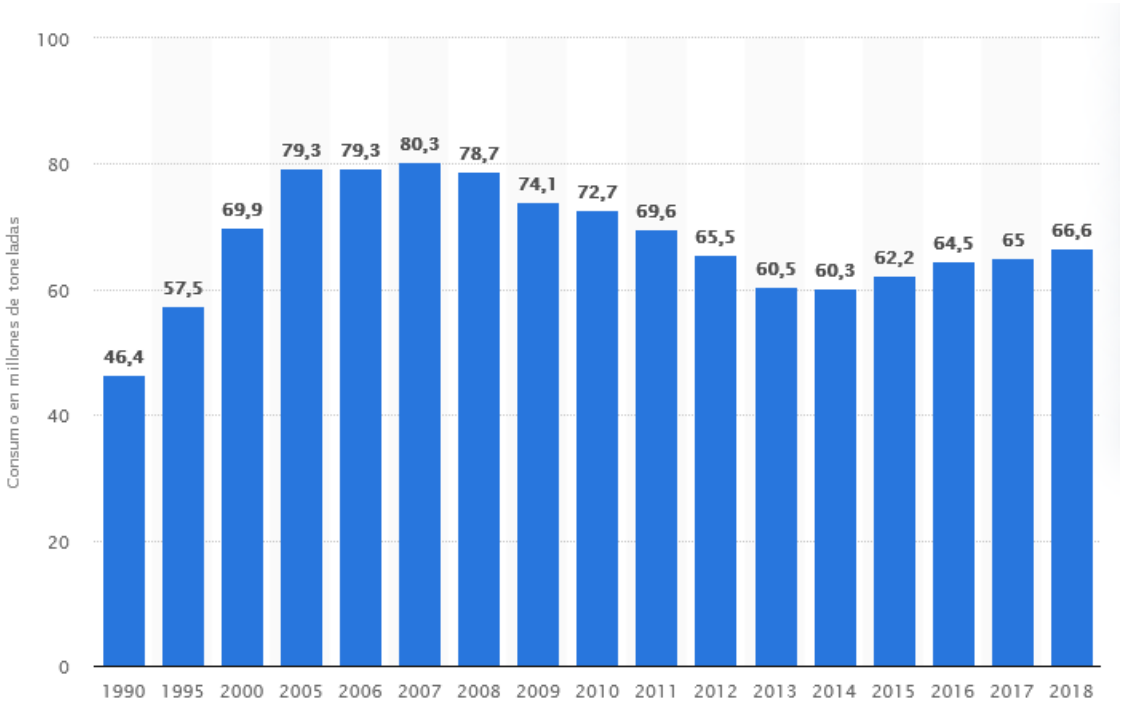


Nota: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - MITECO (2020)

Dada la importancia del consumo de petróleo de cara a las emisiones de CO_2 (ver Apéndice IV para ampliar información), se ha analizado la evolución de la demanda de este combustible en España, desde 1990 hasta 2018 en la Figura 31 (BP, 2019). Lo que se ha observado es que la demanda de petróleo y las emisiones de CO_2 procedentes del mismo siguen la misma tendencia: un repunte en 2007 y una posterior caída hasta 2013 y 2014, donde se estabiliza, y en 2015 vuelve a crecer.

Figura 31

Evolución del consumo de petróleo en España (1990-2018)



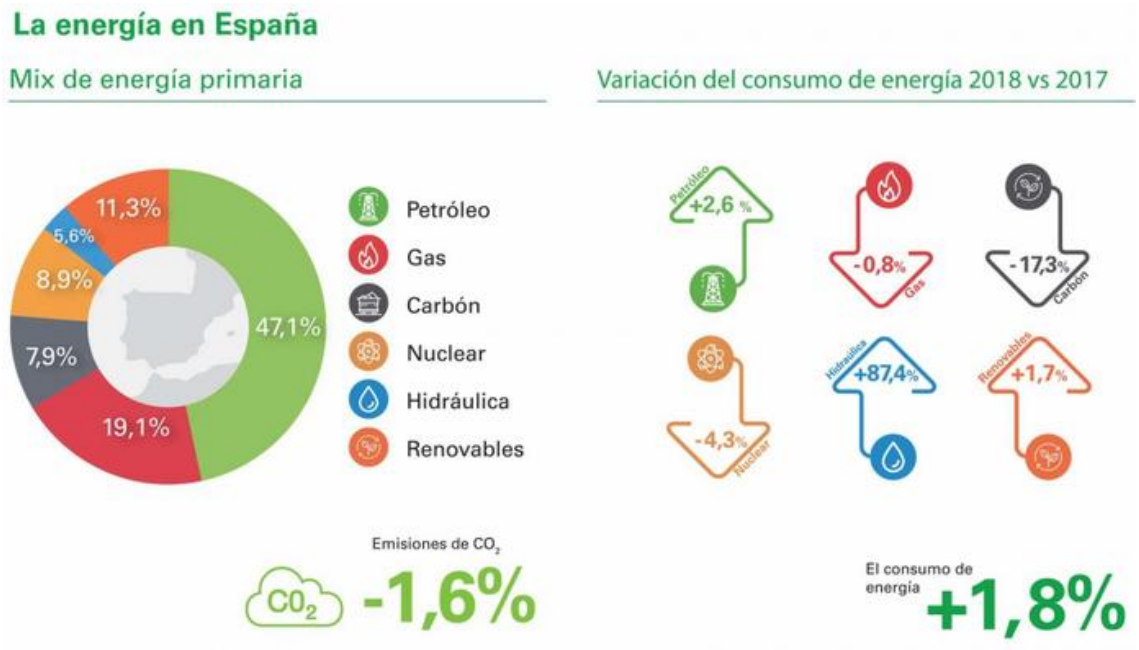
Nota: BP Statistical Review of World Energy, 2019 - BP (2019)

El petróleo y sus derivados tienen múltiples usos: pinturas, jabones, ceras, cauchos, telas sintéticas, plásticos, aditivos, asfalto, aceites y combustibles.

Uno de los principales contribuyentes de GEI es la producción eléctrica (Figura 28), y los combustibles derivados del petróleo se usan para esta finalidad (es importante distinguir entre la generación eléctrica y la generación energética). En España, en 2018, el 47% de la producción eléctrica se obtuvo usando derivados del petróleo (BP, 2019). Si a este porcentaje se le añade el 8% de electricidad generada mediante la quema de carbón (Figura 32), el 53% de la energía eléctrica consumida en España proviene de fuentes altamente emisoras de CO_2. El descenso en 2018 (con respecto a 2017) de las emisiones de CO_2 explicadas por la generación de electricidad coincide con el descenso general de las emisiones de CO_2 en España (Figura 32).

Figura 32

Mix de energía y variación del consumo (España, 2018)

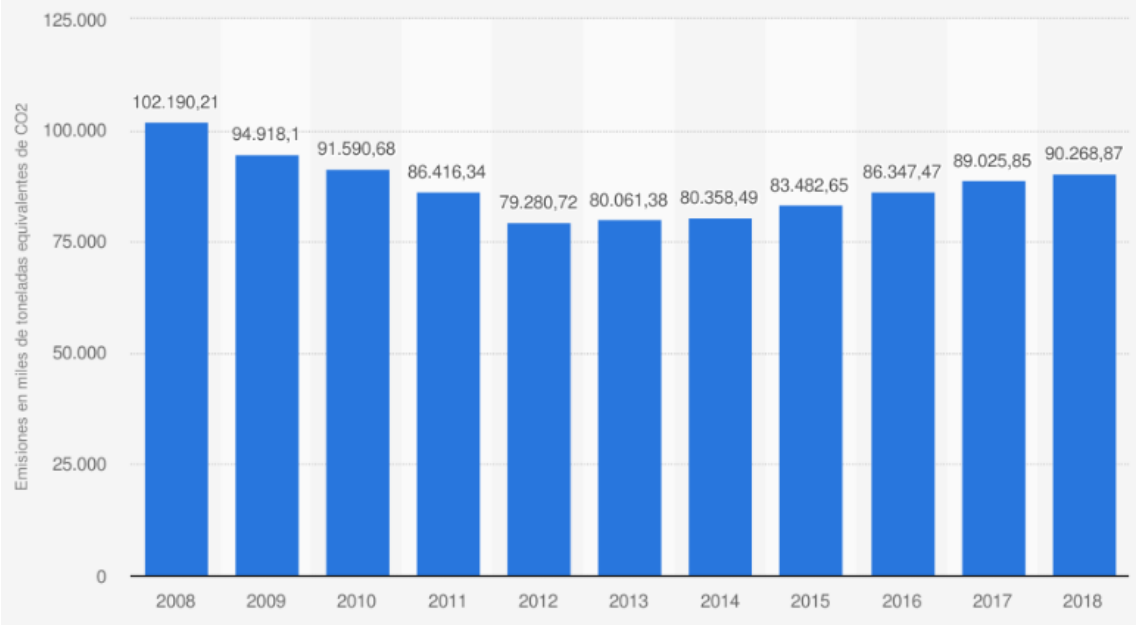


Nota: BP Statistical Review of World Energy BP (2019)

Otro de los usos de los combustibles derivados del petróleo es el del sector del transporte. Según datos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, en España, el 94% de las mercancías se transporta por carretera (MITMA, 2020). En el año 2018, las emisiones generadas por la industria del transporte sumaron un total de aproximadamente 90 millones de toneladas equivalentes de CO_2 (ver Apéndice V para ampliar información). La evolución de las emisiones de este sector se muestra en la Figura 33 (EUROSTAT, 2020), donde pueden apreciarse los efectos de la crisis de 2007 en la disminución de las emisiones desde 2008 y hasta 2012, iniciándose una leve recuperación en 2013. A la vista de los datos, podía decirse a priori que las emisiones de este sector están directamente ligadas a su tasa de actividad.

Figura 33

Volumen de emisiones de gases de efecto invernadero generado en la industria del transporte en España de 2008 a 2018 (en miles de toneladas equivalentes de CO_2)

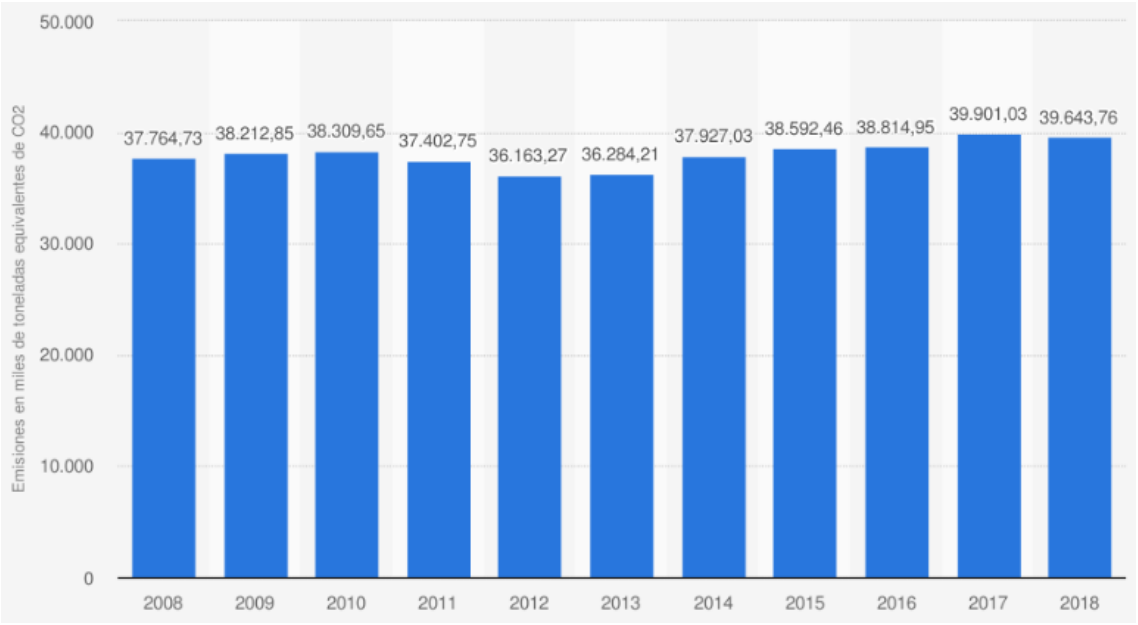


Nota: EUROSTAT y EEA, 2020 - EUROSTAT (2020)

En el caso de la agricultura, en el año 2018 sus emisiones fueron de aproximadamente 39,6 millones de toneladas de CO_2 (equivalente). En la Figura 34 (EUROSTAT, 2020) se puede apreciar una tendencia similar, con emisiones del sector ligadas a la producción, aunque con una incidencia menos pronunciada de la crisis de 2008.

Figura 34

Volumen de emisiones de gases de efecto invernadero generado por la agricultura en España de 2008 a 2018 (en miles de toneladas equivalentes de CO_2)

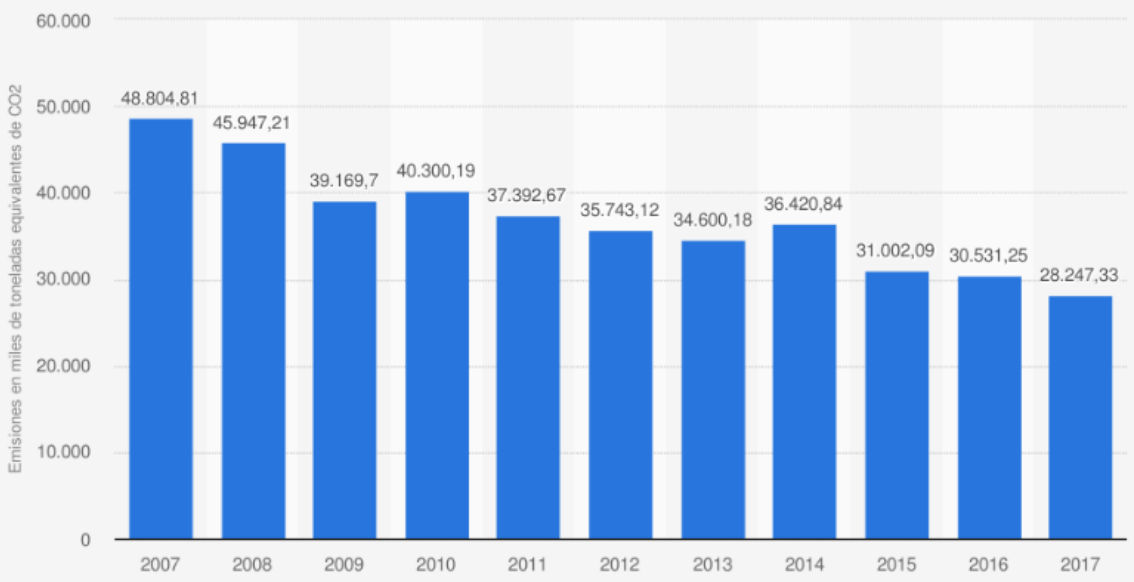


Nota: EUROSTAT y EEA, 2020 - EUROSTAT (2020)

Para el sector manufacturero la tendencia es distinta al resto de sectores analizados. En la Figura 35 (EUROSTAT, 2020) se puede observar una tendencia claramente decreciente. Esta tendencia puede explicarse por varios factores, como la incidencia de la crisis, la deslocalización de las empresas intensivas en mano de obra y la adopción de medidas para la defensa del medioambiente.

Figura 35

Volumen de emisiones de gases de efecto invernadero generado por los procesos industriales y el uso de productos en España de 2007 a 2017 (en miles de toneladas equivalentes de CO_2)



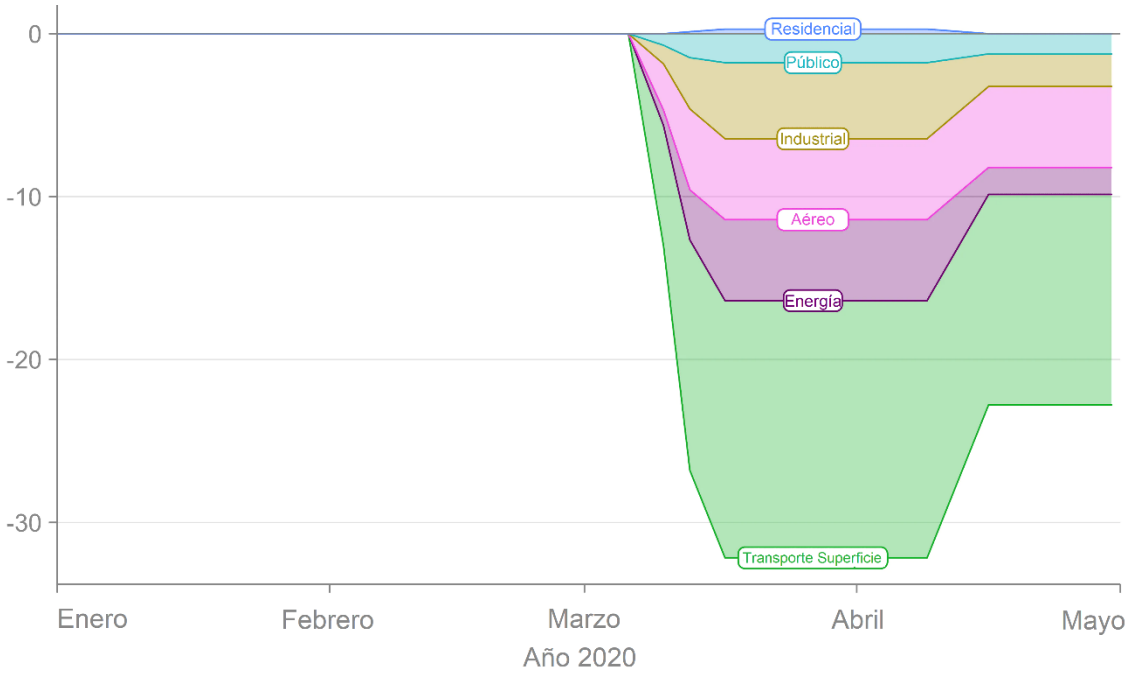
Nota: EUROSTAT y EEA, 2020 - EUROSTAT (2020)

2.3. Impacto de la COVID-19 en las emisiones españolas

Según un estudio publicado en la revista Nature Climate Change (Le Quéré et al., 2020), las emisiones de CO_2 españolas se redujeron hasta en un 31,9% durante el confinamiento (Figura 36).

Figura 36

Variaciones diarias de emisiones de CO_2 (%) procedentes de combustibles fósiles

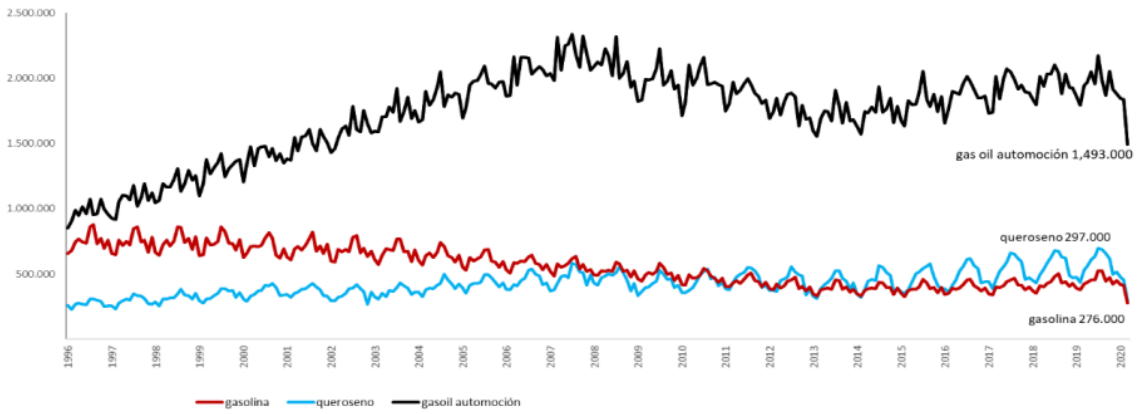


Nota: elaboración propia con datos de Nature Climate Change – Le Quéré et al., (2020)

La disminución de emisiones más notable es la del transporte por carretera. Este sufrió un descenso de su actividad del 50% durante el confinamiento, lo que se tradujo en un descenso de las emisiones de un 43% en ese período. Esto se puede comprobar gráficamente en la Figura 37 (Baeza et al., 2020), en la que se representa la evolución del consumo de combustibles para el transporte de superficie y aéreo.

Figura 37

Consumo de gasolina, gasoil de automoción y queroseno en España, 1996-2020 marzo

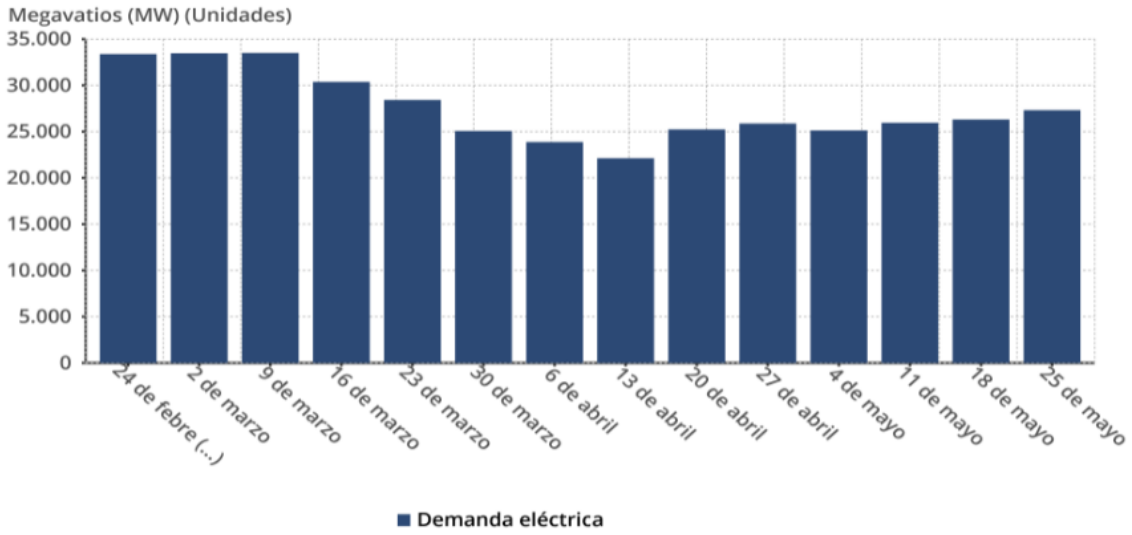


Nota: Observatorio de la Sostenibilidad - Baeza et al., (2020)

En cuanto a la demanda eléctrica (la segunda disminución de emisiones en volumen), en las Figuras 38 y 39 se puede observar la incidencia del confinamiento severo (30 de marzo a 9 de abril, siendo la fecha efectiva del fin del confinamiento severo el 12 de abril debido a las festividades de la Semana Santa) del comienzo del estado de alarma (15 de marzo a 20 de junio), respectivamente. La demanda menor se registró el 13 de abril, cuando justo se terminaba la etapa del confinamiento severo, que afectaba a trabajadores no esenciales (Figura 38). Y en cuanto a la evolución semanal de la demanda, se observa una caída sistemática de la demanda en fin de semana (igual que en condiciones normales), pero se observa un descenso severo del consumo desde la última semana de febrero hasta finales de abril. En mayo se va recuperando el consumo a medida que se va recuperando la actividad (Figura 39).

Figura 38

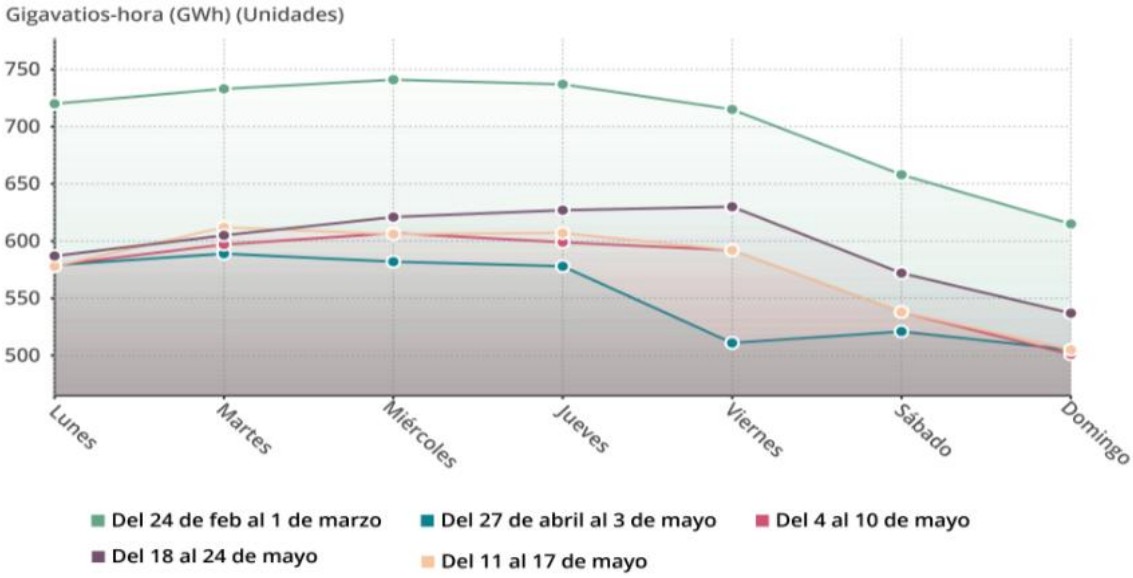
Demanda eléctrica los lunes a las 10:00



Nota: elaboración propia con datos de REE (2020)

Figura 39

Evolución de la demanda eléctrica por semanas (febrero a mayo de 2020)

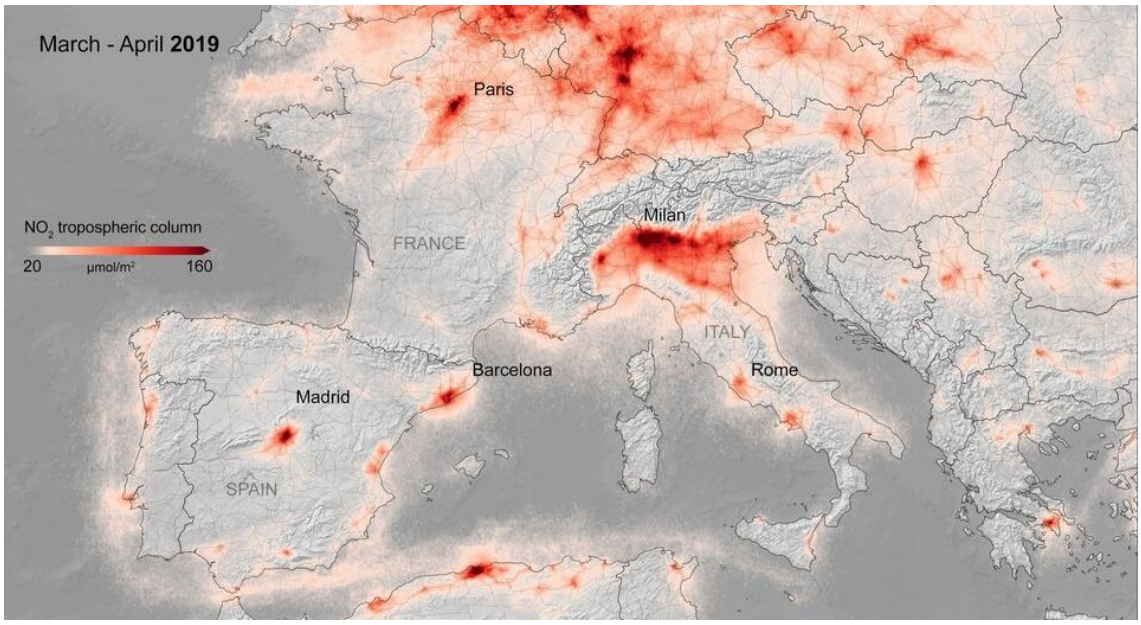


Nota: elaboración propia con datos de REE (2020)

Esto se traduce en una mejora de la calidad del aire que puede comprobarse. En análisis llevados a cabo por la Agencia Espacial Europea (ESA, en adelante) se puede apreciar que los niveles de NO_2 se mantuvieron bajos en Europa, coincidiendo en el tiempo con las medidas de confinamiento para tratar de detener la propagación del coronavirus. Los datos se obtuvieron del satélite Sentiel-5P del programa Copernicus de la UE, y muestran un descenso en ciertas ciudades del 45-50% en comparación con medidas del mismo período del año anterior (ESA, 2020). En las Figuras 40 y 41 se puede apreciar la diferencia de concentración de NO_2 en los períodos marzo-abril de 2019 y 2020.

Figura 40

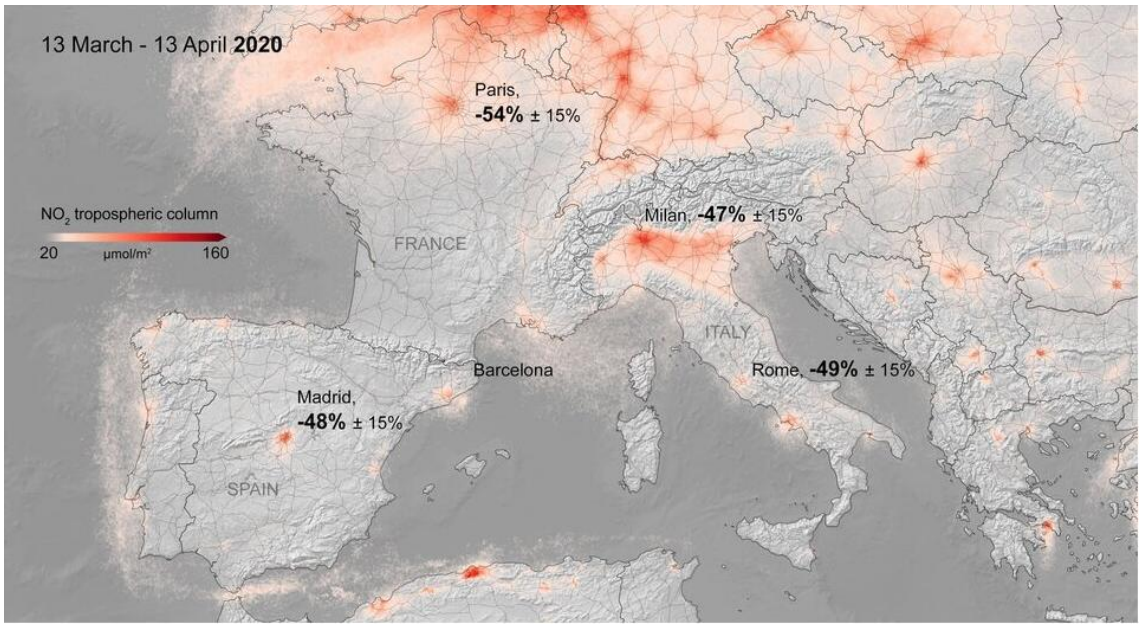
Concentración de NO_2 en Europa en marzo-abril de 2019



Nota: ESA (2020)

Figura 41

Concentración de NO_2 en Europa en marzo-abril de 2020

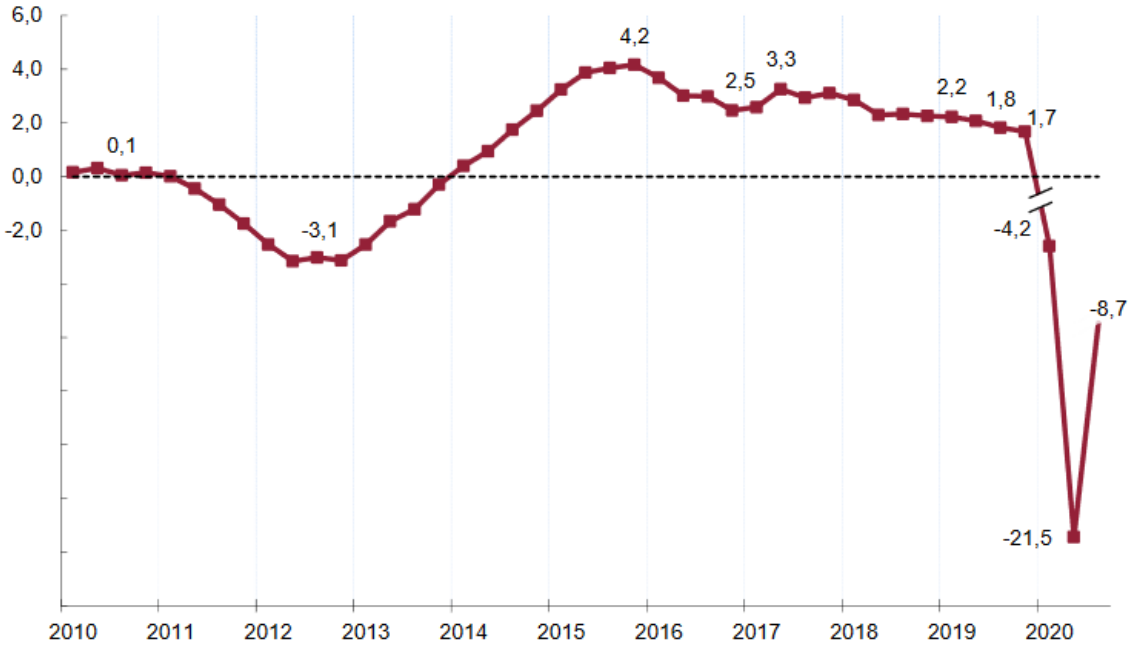


Nota: ESA (2020)

Si se estudia la evolución interanual del PIB español (en %) se puede observar una retrocesión drástica del PIB en el período del confinamiento. Esto podría explicar en buena medida, la disminución de las emisiones. En la Figura 42 (INE, 2020a) puede seguir la evolución de esta macromagnitud, que llega a caer hasta un 21,5%.

Figura 42

Variación interanual del PIB español, en %

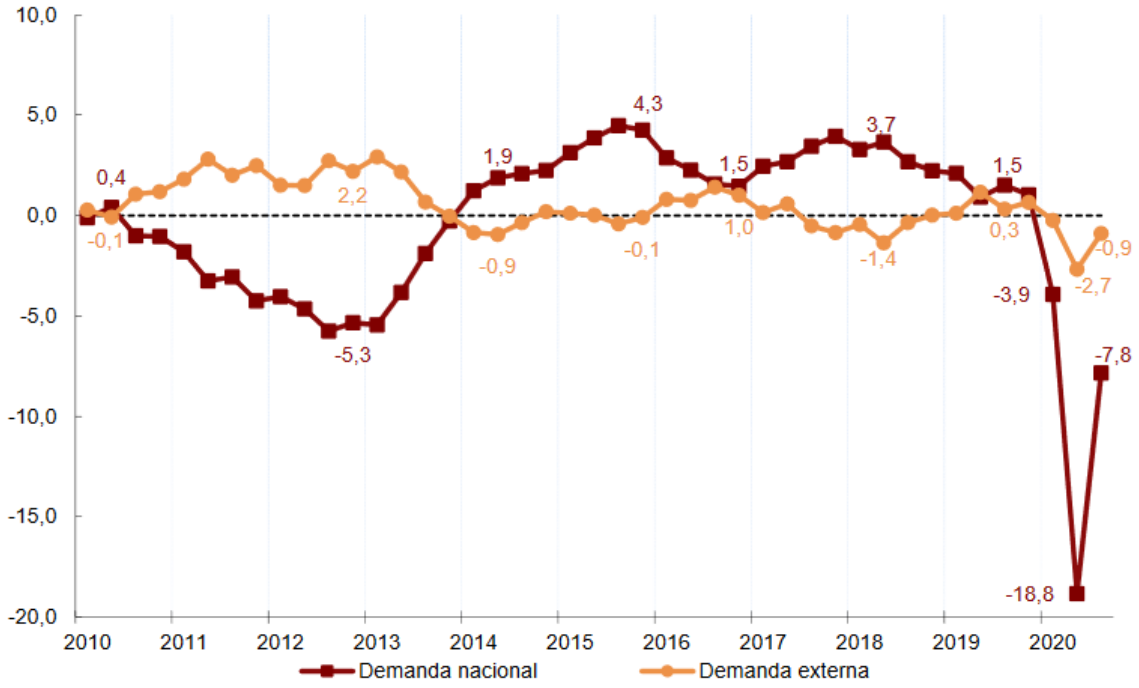


Nota: INE (2020a)

Dentro de los componentes del PIB, quien ha contribuido en mayor medida a esa espectacular caída es la demanda interna. A la vista de todo lo expuesto anteriormente, podría decirse que la demanda también está relacionada de manera directa con las emisiones. En la Figura 43 (INE, 2020a) se puede apreciar la caída tanto de la demanda externa como de la interna.

Figura 43

Demanda nacional y externa: aportaciones al crecimiento interanual en volumen del PIB español



Notal: INE (2020a)

Los componentes de la demanda, de la oferta y del PIB (volumen encadenado, precios corrientes y precios de mercado) por trimestre y para los años 2019 y 2020 se encuentran en el Apéndice VI del presente documento, en las tablas 5, 6, 7 y 8 (INE, 2020a).

2.4. Observaciones al análisis de las emisiones de la economía española y del impacto de la COVID19

Parece evidente que la actividad humana es la responsable de gran parte de las emisiones de GEI, como se ha tratado de demostrar en apartados anteriores de este trabajo. Analizando el caso español no se observa nada inconsistente: las emisiones tienen una relación directa y positiva con el crecimiento. El crecimiento tiene también

una relación directa y positiva con la actividad humana, con lo que se puede concluir que las emisiones, por tanto, tienen una relación directa y positiva con la actividad humana. Atendiendo además a la parada forzosa de la economía en marzo de 2020, que produjo una caída drástica de las emisiones en España, esta relación queda demostrada empíricamente.

2.5. Marco legal I: los mercados de derechos de emisión

En la página web de la UE se define el régimen de comercio de derechos de emisión como un punto de inflexión en la política de cambio climático de Europa y su principal instrumento para la reducción rentable de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este régimen es el mayor y más grande mercado de carbono del mundo (UE, 2016).

En la página web del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, del Gobierno de España, el comercio de derechos de emisión se define como una herramienta de mercado que crea incentivos o desincentivos económicos para beneficiar el medio ambiente mediante la reducción colectiva del sector industrial de las emisiones de gases contaminantes (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020b).

Lo que se pretende con los derechos de emisión es limitar la cantidad de GEI que se vierten a la atmósfera por parte de las instalaciones de gran consumo de energía y compañías aéreas. Este límite se va reduciendo a lo largo del tiempo para que las emisiones totales también lo hagan. Se trata de un régimen de “limitación y comercio”.

Dentro de un esquema de comercio de derecho de emisión se encuentran los siguientes elementos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020b):

1. **Autorización de emisión:** es un permiso concedido a las instalaciones afectadas por el régimen de comercio de derechos de emisión. Esto asegura la liberación de gases a la atmósfera. Impide comprar y vender.
2. **El derecho de emisión:** es el derecho a liberar a la atmósfera una cantidad limitada de gas de los objetos afectados por el sistema. Los derechos de emisión se pueden transferir: se pueden comprar y vender.
3. **Techo de emisiones:** es la cantidad total de derechos de emisión cedidos a "circulación". El límite superior está por debajo de lo que es consistente con el escenario de tendencia de emisiones y disminuirá con el tiempo. Definir objetivos ambientales y asignar un valor económico a los derechos de emisión creando escasez o carestía.
4. **Asignación de derechos:** es un sistema de asignación de derechos de emisión entre instalaciones vinculadas. Esto se puede hacer de forma gratuita o mediante subastas, etc. Las emisiones sujetas a gratuidad disminuyen con el tiempo.
5. **Cumplimiento:** las instalaciones que participen en el comercio de derechos de emisión deberán entregar derechos de emisión correspondientes a las emisiones efectivamente producidas. No se establecen límites de emisión por separado, sino que se establecen límites globales y se explica la obligación de cubrir las emisiones con derechos.
6. **Seguimiento de las emisiones:** se deben realizar cálculos de emisiones para las instalaciones relacionadas con el comercio de derechos de emisión. El objetivo es determinar cuántos derechos de emisión hay que retornar.

7. **Registro de derechos:** es un registro electrónico cuya finalidad es llevar el control de los derechos de emisión en circulación: cuántos hay y quién es su titular.

El 1 de enero de 2005, la Unión Europea puso en marcha el mercado de CO_2 más ambicioso hasta ese momento mediante la Directiva 2003/87/CE (que se transpuso al ordenamiento jurídico español por la Ley 1/2005). Se regulan, en los 27 Estados miembros más Islandia, Noruega y Liechtenstein, las emisiones de CO_2 de las actividades siguientes: centrales térmicas, cogeneración, otras instalaciones de combustión de potencia térmica superior a 20MW (calderas, motores, compresores, etc.), refinerías, coquerías, siderurgia, cemento, cerámica, vidrio y papeleras. Todo esto afecta a más de 10.000 instalaciones y en torno a 2.000 millones de toneladas de CO_2, que suponen el 45% de las emisiones de GEI de la UE (UE Climate Action, 2016).

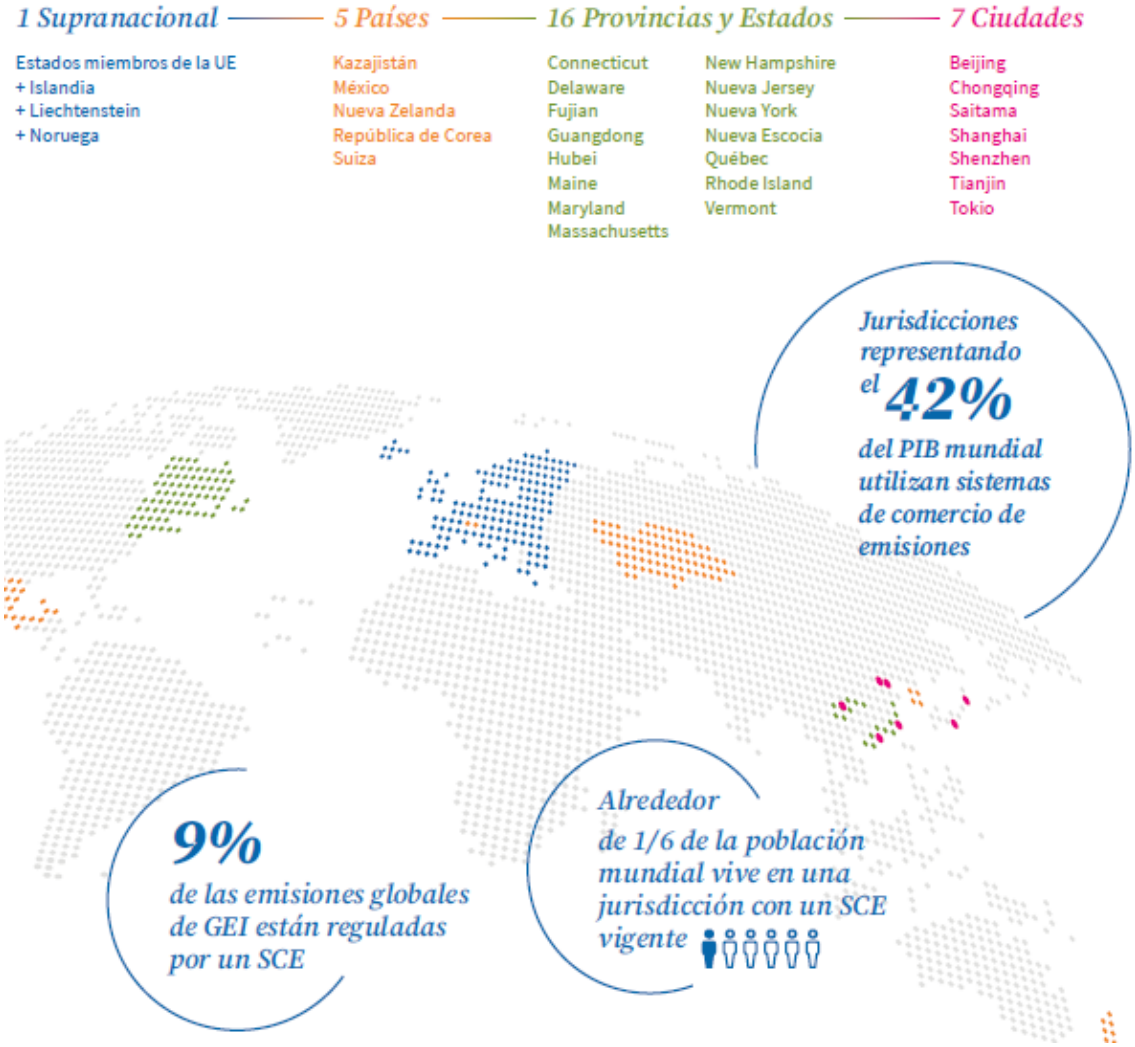
En todo el mundo prosperan los regímenes de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. Además del régimen de la UE (RCDE UE), ya están operativos o en desarrollo sistemas nacionales o subnacionales en los siguientes países: Canadá, China, Japón, Nueva Zelanda, Corea del Sur, Suiza y Estados Unidos. Estos mercados están coordinados en cuanto a las normas de contabilidad y cantidad de derechos que se comercian mediante el Acuerdo de París (COP21).

Particularmente, existen varios acuerdos de cooperación entre el RCDE UE y el resto de mercados. Como cooperación bilateral se pueden destacar los acuerdos con China (declaración conjunta UE-China para el cambio climático, celebrada en junio de 2015, con un posterior encuentro en 2018); y con Corea, mediante el régimen de comercio de derechos de emisión del citado país (KETS). Como cooperación multilateral, la Comisión Europea es miembro fundador de la Asociación Internacional para la Acción contra el Carbono (ICAP, International Carbon Action Partnership,

Figura 44). En esta asociación participan los países y regiones que cuentan con sistemas obligatorios de limitación y comercio de emisiones (SCE, Sistemas de Comercio de Emisiones). Actualmente cuenta con 31 miembros y 5 observadores provenientes de jurisdicciones nacionales, subnacionales y supranacionales de cuatro continentes (ICAP, 2020).

Figura 44

Miembros ICAP y su cobertura, 2020



Nota: ICAP (2020)

En las figuras 45 y 46 se puede observar el mapa de SCE. En él se muestran los sistemas de comercio de emisiones existentes en el mundo, ya sea en vigor, en desarrollo o en fase de proyecto. Actualmente existen 21 sistemas funcionando que cubren 29 jurisdicciones con un SCE vigente. Otras nueve jurisdicciones están en proceso de puesta en marcha de su SCE, el cual iniciará operaciones en los próximos años, incluyendo China, Alemania y Colombia. 15 jurisdicciones más están considerando la implementación de un SCE como parte de su conjunto de políticas climáticas, incluyendo Chile, Turquía, Pakistán, Montenegro y Filipinas (ICAP, 2020).

Figura 45

Programas SCE en el mundo (I)



Nota: ICAP (2020)

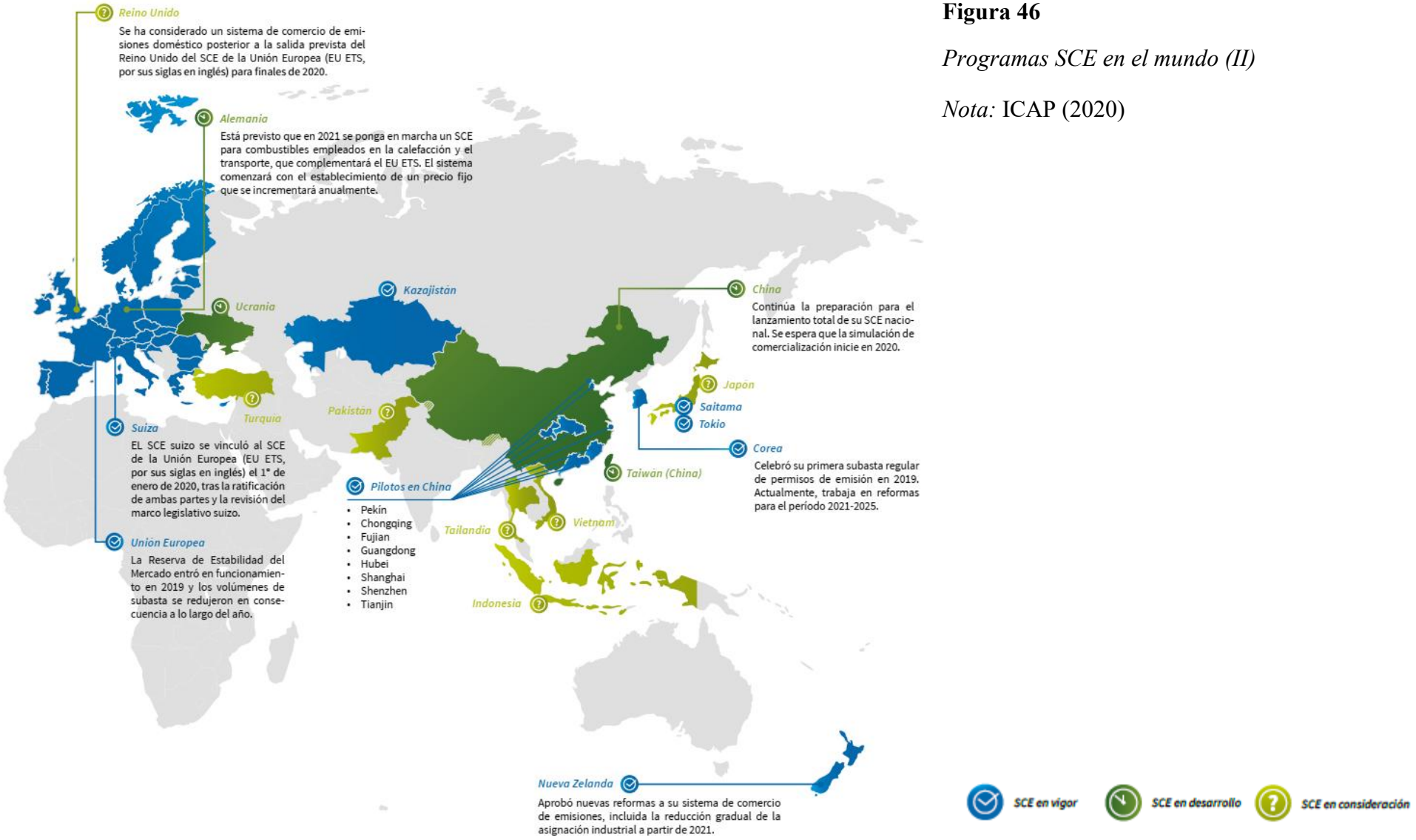


Figura 46

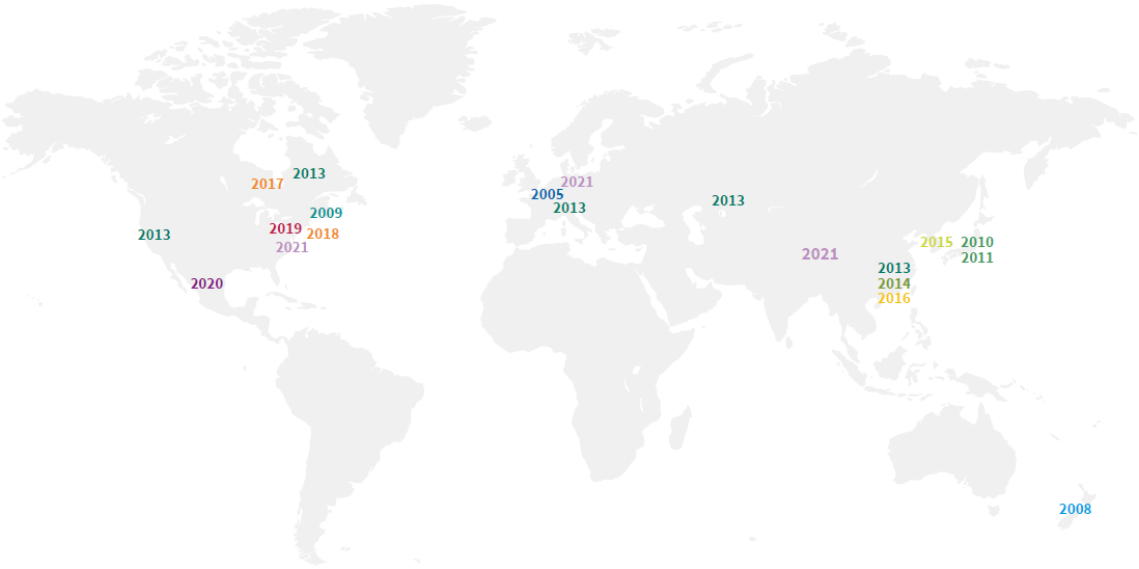
Programas SCE en el mundo (II)

Nota: ICAP (2020)

La implementación de los SCE se ha extendido alrededor del mundo. En la Figura 47 se pueden observar las fechas de entrada en vigor por zona geográfica de estos sistemas. Con las nuevas entradas en vigor, en breve se multiplicará por tres la relación de emisiones globales reguladas por el comercio de emisiones desde la puesta en marcha del EU ETS en 2005.

Figura 47

Fechas de entrada en vigor de los SCE en el mundo



Nota: ICAP (2020)

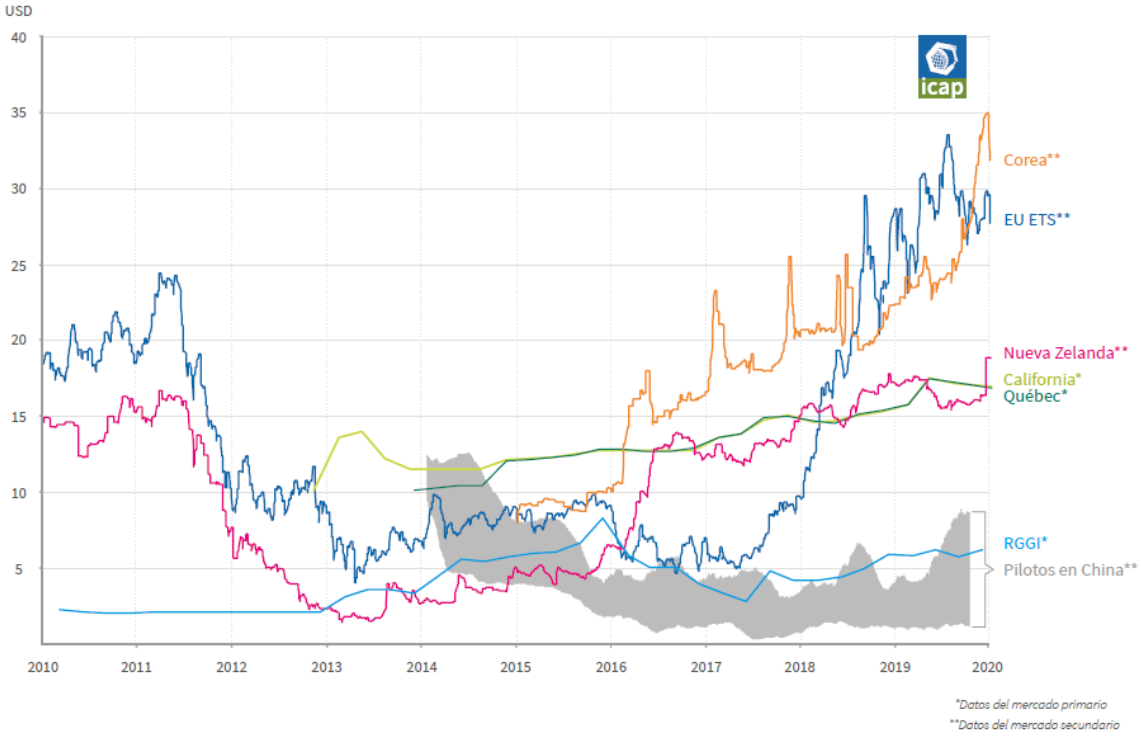
Los cambios a lo largo del tiempo han sido impulsados por la adición de nuevos sectores y nuevos SCE, así como por tendencias compensatorias que han reducido los techos de varios esquemas de reducción de las emisiones.

En la Figura 48 se muestran datos del Explorador de Precios al Carbono (Allowance Price Explorer) de ICAP (ICAP, 2020), con el objeto de comprobar la evolución de los precios de la tonelada de CO_2 de 2010 a 2020 en diversos SCE en el mundo. A lo largo de la década y en todos los sistemas se pueden apreciar las

tendencias mantenidas y la inestabilidad en el corto plazo. Estas tendencias están determinadas por cambios en los costes actuales y futuros proyectados de los derechos sobre las emisiones. Dichos cambios también pueden deberse a cambios en las condiciones económicas generales, revisiones a las regulaciones SCE e interacciones con otras políticas climáticas y energéticas. Todos los datos se presentan en dólares estadounidenses (USD) y se convierten utilizando los tipos de cambio actuales. Los precios de los permisos de emisión en los SCE de RGGI (por sus siglas en inglés, Regional Greenhouse Gas Initative - Iniciativa Regional de Gases de Efecto Invernadero), California y Québec se han obtenido de los mercados primarios. Se obtuvieron los precios del mercado secundario para todos los demás sistemas. En el programa piloto de China, el promedio móvil de 90 días se calcula a partir de los datos de precios mínimos y máximos diarios de un día determinado. Esto se muestra como el área sombreada en gris en la Figura 48.

Figura 48

Evolución de los precios por tonelada de CO_2 de los derechos de emisión (década 2010)



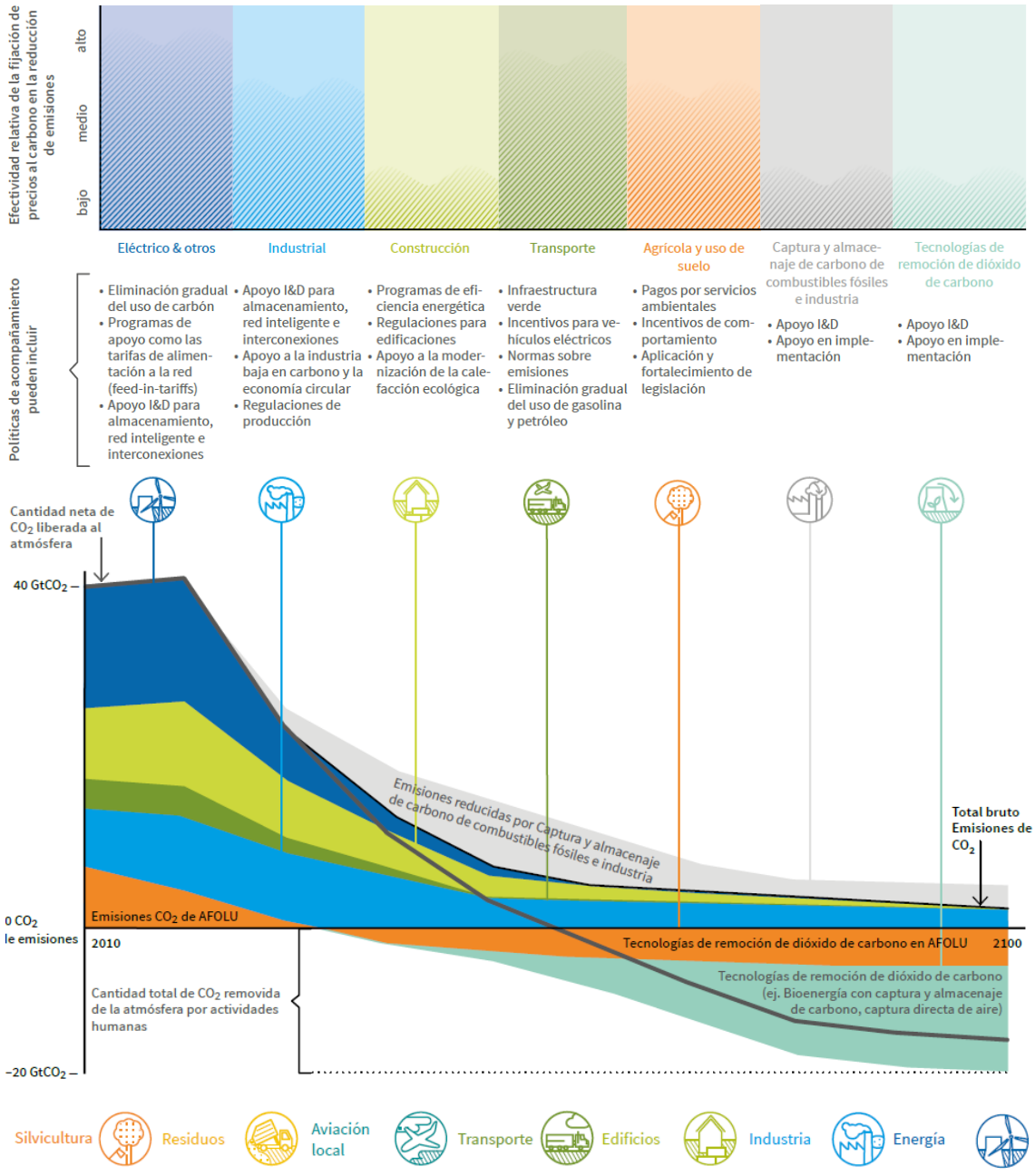
Nota: ICAP (2020)

El objetivo es dirigir la actividad humana a una huella de carbono 0. El cuadro combinado a continuación (Figura 49) muestra cómo las medidas de fijación de precios del carbono se pueden combinar con medidas complementarias para reducir el coste de reducir las emisiones en todos los sectores y fomentar las emisiones negativas. En la parte inferior se propone una de las "cuatro trayectorias modelo ilustrativas" del Informe Especial del IPCC sobre los Impactos del Calentamiento Global de 1.5°C (IPCC, 2018a). En esta parte inferior se muestra la cantidad de emisiones (sectores emisores y destructores) y la línea de tiempo en la que estas modificaciones en las emisiones deben aplicarse. En la parte superior se resume la importancia del establecimiento de precios al carbono y propone una serie de políticas complementarias

específicas para cada sector. La eficacia del modelo propuesto precisa de políticas para el establecimiento de precios al carbono y el acompañamiento de políticas adicionales.

Figura 49

Medidas para la reducción de la huella de carbono, por sectores



Nota: Elaboración propia con datos de The Global Carbon Project (2018)

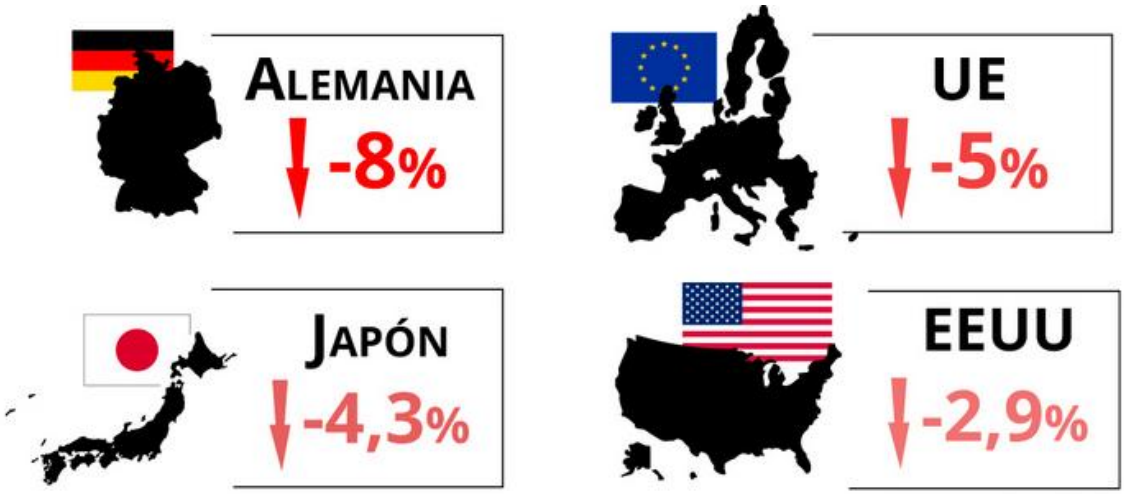
2.6. Marco legal II: el "Green Deal" de la Unión Europea

Según la página web de la UE, se puede entender el "Green Deal" (pacto verde, del inglés) por su objetivo, que es el de lograr que Europa construya una economía limpia con cero emisiones, proteja nuestros hábitats naturales, mejore el bienestar de las personas y las empresas y lidere la acción climática global (EUGreenDeal, 2020).

En general, la preocupación por los daños al medio ambiente es algo generalizado en el mundo. Esto puede apreciarse en la Figura 50, donde se representan las reducciones de emisiones de CO_2 de las economías más avanzadas (emisiones de 2019 comparadas con las de 2018).

Figura 50

Reducción de las emisiones de CO_2 de las economías más avanzadas (2018-2019)



Nota: AIE - IEA (2020)

En noviembre de 2019, el Parlamento Europeo declaró la "emergencia climática". Esto significa que se prioriza la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que tengan que ver con el medio ambiente, mediante la eliminación de obstáculos burocráticos que dificulten su consecución (EUGreenDeal, 2020).

El motivo de la declaración de esta emergencia es porque el 93% de los europeos consideran que el cambio climático es un problema grave y que han llevado a cabo al menos una acción (o han tomado al menos una medida) para tratar de paliarlo. Además, el 79% de los ciudadanos de la UE también piensa que la actuación en contra del cambio climático será decisiva para mejorar en innovación (EUGreenDeal, 2020).

Actualmente la UE ha cumplido su objetivo de reducción de emisiones de GEI de cara a 2020 y pretende reducir sus emisiones en un 55% antes de 2030. Además, la UE pretende ser el primer continente climáticamente neutro en 2050 (EUGreenDeal, 2021a).

Los objetivos del "Pacto Verde de la UE" (Figura 51) abarcan desde la disminución de los GEI, pasando por I+D y hasta la conservación del medio natural europeo. Sus primeras iniciativas son(EUGreenDeal, 2021a):

- La "ley europea del clima", que pretende la neutralidad climática para el año 2050.
- El "pacto europeo sobre el clima", que persigue la implicación de la sociedad en su totalidad en la acción por el clima.
- El "plan objetivo climático para 2030", que busca la disminución del 55% de las emisiones de aquí a 2030.
- La "estrategia de adaptación al cambio climático de la UE", que quiere conseguir la resiliencia de la población de la UE frente a los efectos del cambio climático.

Las líneas principales en las que se están tomando medidas para la defensa del medio ambiente y para tratar de paliar el cambio climático son agricultura, energía, clima, medioambiente, transporte y economía (EUGreenDeal, 2021a).

Figura 51

Paquete de medidas del "Pacto Verde Europeo"



Nota: Comisión Europea – Green Deal - EUGreenDeal (2020)

Los objetivos clave que la UE se marca para 2030 son (EUGreenDeal, 2021c):

- Al menos una reducción del 40% de las emisiones de GEI (período base 1990).
- Al menos un 32% de cuota de energías renovables.
- Al menos un 32,5% de mejora de la eficiencia energética.

Con estas políticas pueden indicarse algunas consecuciones de la UE en materia de emisiones, como por ejemplo (EUGreenDeal, 2021d):

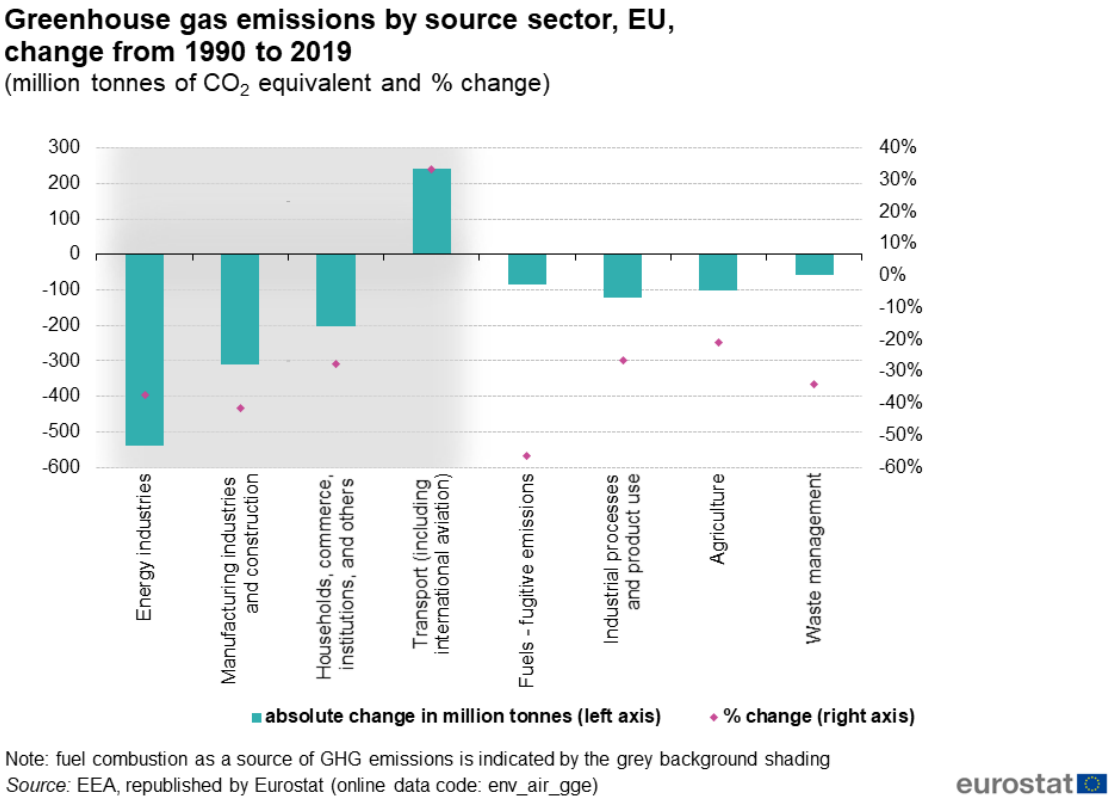
- La UE redujo un 24% sus emisiones de GEI entre 1990 y 2019, con un crecimiento económico del 60% en ese período.
- De 2018 a 2019 las emisiones se redujeron un 3,7%.

- Los sectores que más redujeron sus emisiones fueron los que están sometidos al régimen de comercio de derechos de emisiones de la UE. Particularmente, las centrales eléctricas disminuyeron un 9,1% sus emisiones.

En la Figura 52 se puede cuantificar la variación de emisiones entre 1990 y 2019. Se puede apreciar que, salvo el transporte, el resto de sectores contiene y minora las citadas emisiones.

Figura 52

Cambio en las emisiones de GEI de 1990 a 2019, por sector



Nota: EUROSTAT (2020)

Los beneficios que la UE persigue con su "Pacto Verde" son (EUGreenDeal, 2021b):

- Aire limpio, agua limpia, subsuelos saludables y biodiversidad.

- Edificios renovados y energéticamente eficientes.
- Comida saludable y asequible.
- Más transporte público.
- Energía más limpia y tecnología puntera limpia.
- Productos más duraderos, reparables y reciclables.
- Puestos de trabajos adaptados al futuro y desarrollo de habilidades para la transición ecológica.
- Industria resiliente y globalmente competitiva.

CAPÍTULO 3. Marco Empírico

3.1. Objetivos y metodología

El objetivo perseguido en este capítulo es el análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero de la economía española mediante la aplicación de los modelos de dinámicos integrados de economía clima. La finalidad es la de encontrar las variables más aportadoras de emisiones y comprobar el impacto de los derechos de emisión para proponer medidas de reducción de las mismas y que así la economía española contribuya en menor medida al calentamiento global.

El estudio comenzó detectando los procesos productivos de la economía más contaminantes. Se seleccionaron los 101 procesos más contaminantes y se agregaron en cinco grupos para simplificar su operación en el modelo. Posteriormente se trataron los datos sobre las emisiones de la economía española para adaptarlos a las necesidades del modelo. A partir del modelo general, se construyó uno adaptado a la economía española. Se ingresaron en él los datos previamente obtenidos y se comprobó el impacto de los impuestos en escenarios temporales distintos, contando con el reciclado o no reciclado de los impuestos en el sistema.

A continuación, se detallan las herramientas de análisis, mayoritariamente cuantitativas, utilizadas a lo largo del documento. También se indicará cuál es el cometido de cada herramienta desde el punto de vista del análisis para una mejor comprensión de las técnicas utilizadas a lo largo del trabajo.

3.1.1. Revisión bibliográfica y análisis crítico

De cara a establecer el marco teórico, así como para llevar a cabo el análisis las medidas que ha llevado el Gobierno de España, se hizo una extensa revisión

bibliográfica acerca de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial y, específicamente, de la economía española. Esta revisión consistió en la consulta de informes técnicos emitidos por el gobierno (centrado en la contabilidad de las emisiones de España) y por otras entidades internacionales que estudian, directa o indirectamente, el clima. Además, se trataron datos estadísticos para cuantificar estas emisiones, así como su impacto en el aumento de la temperatura global.

Una vez consultados los informes, analizado su contenido y respaldado con datos cuantitativos, se procedió a hacer un análisis crítico y fundamentado para poder proponer, por un lado, nuevas medidas para la contención de las emisiones de gases de efecto invernadero; y por otro, plantear el escenario impositivo propuesto en el modelo de economía-clima que se detallará más adelante (ver 3.1.4).

3.1.2. Regresión lineal simple

Esta herramienta se utilizó para comprobar la correlación entre la variable emisiones de gases de efecto invernadero (medido en cantidad equivalente de CO_2) y el aumento de la temperatura global. El objetivo era demostrar que, a mayor cantidad de emisiones de efecto invernadero (a partir de un punto temporal, generadas por los humanos), mayor aumento de la temperatura media del planeta.

De esta manera, a nivel teórico, el objetivo de un modelo de regresión lineal simple es explicar la relación existente entre una variable dependiente (Y) y una de variable independiente (X).

Los pasos a seguir son los siguientes:

1.- se sitúan los valores observados en los ejes de coordenadas;

2.- se busca una función lineal que sea la mejor aproximación a la nube de puntos anterior. Esta función debe cumplir que las distancias de todos los puntos de la citada nube sean las menores posibles.

La forma de la ecuación del modelo de regresión lineal simple es la siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Donde:

Y: variable dependiente.

X: variable independiente

β_0: ordenada en el origen

β_1: pendiente de la recta

ε: error cometido en la estimación

Es deseable que el error sea, en media, 0.

Para estimar los parámetros del modelo se parte de una muestra de valores observados de X e Y para n individuos:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$$

Lo que se busca es estimar los valores de Y en el modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

Se debe encontrar entonces los valores de β_0 y β_1 que hagan mínimos los errores de la estimación (ε). Esto se consigue aplicando el método de mínimos cuadrados:

$$SSE = \sum_{i=1}^{n} e_i^2 = \sum_{i=1}^{n} y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)^2$$

Para averiguarlos se debe derivar SSE con respecto a β_0 y β_1 e igualando a 0:

$$\widehat{\beta_o} = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}}$$

$$\widehat{\beta_1} = \bar{y} - \widehat{\beta_1}\bar{x}$$

Siendo:

$$SS_{xy} = \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})\,(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}$$

$$SS_{xx} = \sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2 = n\sigma_x^2$$

A la ecuación resultante:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

Se le llama recta de regresión de Y sobre X (Hoffman, 2021).

3.1.3. Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación es una herramienta que se utilizó en este estudio para comprobar si la regresión lineal simple aplicada entre las variables de emisiones de gases de efecto invernadero y el aumento de la temperatura global es adecuada.

El coeficiente de correlación lineal se interpreta como una medida de la bondad del ajuste que proporciona el modelo. Si el coeficiente vale 1 ó -1 se puede decir que hay una dependencia lineal exacta, con lo que el ajuste se considera perfecto. Pero para cuantificar la bondad del ajuste de un modelo (lineal o no) se utiliza el coeficiente de determinación lineal R^2. Este coeficiente mide la proporción de la variable Y que queda explicada por el modelo. Su expresión matemática es:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{SSE}{SS_{yy}}$$

En el modelo de regresión lineal simple, este coincide con el cuadrado del coeficiente de correlación lineal:

$$R^2 = r^2$$

El coeficiente de correlación toma valores entre 0 y 1. Cuanto más próximo a 1, mejor será el ajuste y así, mejores las predicciones que se podrán inferir del modelo (Hoffman, 2021).

3.1.4. Modelos Dinámicos Integrados de Economía – Clima

Este estudio utilizó modelos dinámicos integrados de economía-clima. William Nordhaus es el diseñador original de estos modelos, con lo que se tomó la revisión más moderna de estos modelos, hecha por William Nordhaus y Paul Sztorc en 2013, como base teórica para la aplicación a la economía española.

3.1.4.1. Introducción a los modelos

El Modelo Dinámico Integrado del Clima y la Economía (DICE) es un modelo analítico y empírico simplificado que representa los aspectos económicos, políticos y científicos del cambio climático. Junto con su versión regional más detallada, el Modelo Regional Integrado de Clima y Economía (RICE), los modelos han pasado por varias revisiones desde su primer desarrollo alrededor de 1990.

El modelo DICE analiza la economía del cambio climático desde el punto de vista de la teoría neoclásica del crecimiento económico. En este ángulo, las economías de los países llevan a cabo inversiones en capital, educación y tecnologías, reduciendo

así el consumo hoy, para aumentar el consumo en el futuro. El modelo DICE amplía este punto de vista cuando incluye el "capital natural" del sistema climático. Expresado de otra manera, trata las concentraciones de gases de efecto invernadero como capital natural negativo y las reducciones de emisiones como inversiones que aumentan la cantidad de capital natural (o reducen el capital negativo). Al dedicar la producción a la reducción de emisiones, las economías reducen el consumo en la actualidad, pero evitan un cambio climático económicamente dañino y, así, incrementan las opciones de consumo en el futuro (Nordhaus & Sztorc, 2013). El uso de combustibles fósiles genera emisiones de GEI, que se redistribuyen por los ecosistemas y alteran el clima. Esto tiene un impacto sobre los ecosistemas y sobre la actividad humana, viéndose necesaria la limitación de las citadas emisiones de GEI.

3.1.4.2. Los objetivos de los Modelos de Evaluación Integrados

Los Modelos de Evaluación Integrados (IAM) se pueden dividir en dos clases generales: optimización de políticas y modelos de evaluación de las mismas. Los modelos de evaluación de políticas son generalmente modelos recursivos o de equilibrio que producen un historial de variables importantes, pero no optimizan los resultados económicos o ambientales.

Un modelo de optimización de políticas tiene una función objetivo maximizada o una función de bienestar que se puede utilizar para evaluar rutas o políticas alternativas. En modelos con estructura económica, la función objetivo suele ser una medida del bienestar económico. Por lo general, se trata de un conjunto de funciones de utilidad comunes.

Estos dos enfoques no son tan distintos como se podría suponer, pues los modelos de optimización de políticas se pueden aplicar en un modo no político,

mientras que los modelos que evalúan las políticas pueden comparar diferentes políticas. Sin embargo, a menudo existen diferencias en los algoritmos de solución, ya que los modelos recursivos suelen ser mucho más sencillos de resolver computacionalmente que los modelos de optimización.

Los modelos DICE / RICE están diseñados esencialmente como modelos para la optimización de políticas, aunque también pueden ejecutarse como modelos de proyección simples. En ambos modos, el planteamiento es la maximización de una función de objetivo económico. La función objetivo representa la meta implícita en el problema. Para los modelos DICE / RICE, la función objetivo se refiere al bienestar económico (o utilidad) asociado a una ruta de consumo.

La aplicación de la optimización se puede interpretar de dos formas: en primer lugar, desde un punto de vista positivo, la optimización es un medio para emular el comportamiento de un sistema de mercados en competencia; y, en segundo lugar, desde un punto de vista normativo, es un posible planteamiento para comparar la incidencia de caminos o políticas alternativas sobre el bienestar económico (Nordhaus & Sztorc, 2013).

3.1.4.3. Las ecuaciones del modelo DICE

Según el autor original (Nordhaus & Sztorc, 2013), en los modelos DICE y RICE se supone que el mundo o las regiones individuales tienen preferencias bien definidas, representadas por una función de bienestar social, que clasifica diferentes rutas de consumo. La función de bienestar social está aumentando en el número de personas y en el consumo per cápita de cada generación, con una utilidad marginal del consumo decreciente.

La importancia del consumo per cápita de una generación depende del tamaño de la población. La importancia relativa de las diferentes generaciones se ve incidida por dos parámetros normativos centrales, la tasa pura de preferencia social en el tiempo ("descuento generacional") y la elasticidad de la utilidad marginal del consumo (la "elasticidad del consumo"). Estos dos parámetros interactúan para determinar la tasa de descuento de los bienes, que es fundamental para las opciones económicas intertemporales. En el modelo se establecen los parámetros de preferencia para que sean consecuentes con los resultados económicos observados, tal como se refleja en las tasas de interés y las tasas de rendimiento del capital, una elección que será fundamental para el análisis de los resultados.

El modelo DICE asume que las políticas económicas y climáticas deben diseñarse para optimizar el flujo de consumo a lo largo del tiempo. El consumo debe interpretarse como "consumo generalizado", que aglutina no solo bienes y servicios de mercado tradicionales como alimentos y vivienda, sino también artículos no comerciales como ocio, estado de salud y servicios ambientales.

La representación matemática de este supuesto es que las políticas se eligen para maximizar una función de bienestar social, W, que es la suma descontada de la utilidad ponderada por población del consumo per cápita. La notación es que c (t) es el consumo per cápita, L (t) es la población además de los insumos laborales y R (t) es el factor de descuento. La ecuación siguiente es el enunciado matemático de la función objetivo. Esta representación es estándar en las teorías modernas del crecimiento económico óptimo:

$$W = \sum_{t=1}^{T\ máx} U[c(t), L(t)]R(t)$$

Hay una serie de supuestos adicionales que subyacen a esta elección de una función objetivo. Primero, involucra una representación específica del valor o "utilidad" del consumo. Los modelos DICE / RICE asumen que la utilidad está representada por una función de utilidad de elasticidad constante, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$U[c(t), L(t)] = L(t)\left[\frac{c(t)^{1-\alpha}}{1-\ \alpha}\right]$$

Esta forma asume una elasticidad constante de la utilidad marginal del consumo, α. (En el caso límite donde α = 1, la función de utilidad es logarítmica). El parámetro de elasticidad se considera mejor como una aversión a la desigualdad generacional. Dicho de otra manera, la elasticidad representa la disminución de las valoraciones sociales del consumo de diferentes generaciones. Si α es cercano a cero, entonces los consumos de diferentes generaciones son sustitutos cercanos, con baja aversión a la desigualdad; si α es alto, los consumos están muy diferenciados y esto refleja una alta aversión a la desigualdad.

En segundo lugar, esta especificación asume que el valor del consumo en un período es proporcional a la población. En el modelo RICE, la presencia de múltiples agentes

En tercer lugar, este enfoque aplica un descuento sobre el bienestar económico de las generaciones futuras, como se define en la siguiente ecuación:

$$R(t) = \ (1+\rho)^{-t}$$

En esta especificación, R(t) es el factor de descuento, mientras que la tasa pura de preferencia social en el tiempo, ρ, es la tasa de descuento que proporciona las

ponderaciones de bienestar de las empresas de servicios públicos de diferentes generaciones.

3.1.4.4. Las variables económicas

Las variables de producción, población y emisiones se crean a partir de datos nacionales. Por lo general, se agrupan en las principales regiones (Estados Unidos, China, UE, India, etc.). Luego se proyectan por separado. Los agregados regionales se utilizan en el modelo RICE. Para el modelo DICE, simplemente se agregan para el total mundial.

Cada región está dotada de un stock inicial de capital y trabajo y un nivel de tecnología inicial y específico de la región. El crecimiento de la población y el cambio tecnológico son específicos de la región y exógenos, mientras que la acumulación de capital se determina optimizando el flujo de consumo en el tiempo para cada región. Los productos regionales y las existencias de capital se agregan utilizando tipos de cambio de paridad del poder adquisitivo (PPA).

Atendiendo al diseño del modelo, la función de producción se representa con una función de producción Cobb-Douglas en capital, trabajo y energía. La energía toma la forma de combustibles basados en carbono (como el carbón) o tecnologías no basadas en carbono (como la energía solar, geotérmica o nuclear) (Nordhaus & Sztorc, 2013).

El cambio tecnológico adopta dos formas: cambio tecnológico en toda la economía y cambio tecnológico que ahorra carbono. El nivel de productividad total de los factores (PTF, representada por A(t)) es una ecuación logística similar a la de la población.

Las estimaciones de población y producción subyacentes se agregan a partir de un modelo de doce regiones. Los productos se miden en tipos de cambio de paridad del poder adquisitivo (PPA) utilizando las estimaciones del FMI. La producción total de cada región se proyecta utilizando un modelo de convergencia parcial, y luego las salidas se agregan al total mundial. Se supone que las funciones de producción regional y global son funciones de producción Cobb-Douglas de rendimiento constante a escala en el capital, el trabajo y el cambio tecnológico neutral de Hicks. La salida global se muestra en la siguiente ecuación:

$$Q(t) = \frac{[1 - \Lambda(t)]A(t)K(t)^{\gamma}L(t)^{1-\gamma}}{[1 - \Omega(t)]}$$

En esta especificación, Q (t) es la producción neta de daños y reducción, A (t) es la productividad total de los factores (de la variedad neutral de Hicks) y K (t) es el capital social y los servicios. Las variables adicionales en la función de producción son Ω (t) y Λ (t), que representan los daños climáticos y los costos de mitigación (Nordhaus & Sztorc, 2013).

3.2. Diseño del modelo

3.2.1. Diseño del modelo dice para España

3.2.1.1. Descripción del modelo

A partir de los modelos de Nordhaus y Sztorc (2013) expuestos en el apartado 1.7 de este trabajo, se desarrolló un modelo dinámico multisectorial economía-energía-medio ambiente de la economía española. Se pretendió examinar cómo los precios del carbono afectan al uso de energía y las emisiones mediante el análisis del impacto en los sectores intensivos en energía, además de cómo se ha propagado a otras industrias. También se

persiguió analizar cómo estos cambios afectan a los precios de los factores y a la distribución de ingresos. Así, el modelo tiene las siguientes características:

- es un modelo de equilibrio general, por lo que se pueden evaluar los efectos macroeconómicos globales del impuesto sobre las emisiones después de ajustes en precios y cantidades, obteniendo una perspectiva nacional;
- es dinámico, por lo que se pueden observar los efectos tanto a corto como a largo plazo. La dimensión temporal es clave para decidir si el impuesto es adecuado o no;
- se realizó un seguimiento de los indicadores energéticos y ambientales que son fundamentales para evaluar la efectividad en la reducción de emisiones de carbono y la mejora de la calidad ambiental, que es lo que se persiguió con este estudio.

Este modelo se basó en Freire-González y Ho (2018) agregando características para analizar los efectos de gravar las emisiones en lugar de la producción. Este modelo tiene una estructura similar a la del modelo de China de Ho y Jorgenson (2007) y utilizó los procedimientos contables de Jorgenson et al. (2013), con modificaciones para adecuarlo al análisis de la economía española.

En el modelo, el crecimiento está impulsado por el ahorro, con una tasa de ahorro que se establece de forma exógena. En este sentido, el modelo se formuló como un modelo de crecimiento de Solow (1956). Los ahorros totales provienen de los hogares como parte de sus ingresos; de empresas como ganancias retenidas; y de la inversión extranjera (neta). Los ahorros se utilizan para invertir en capital nacional y para financiar el déficit presupuestario del gobierno. Este supuesto difiere de lo que es común en modelos con previsión conocida y ahorro endógeno. Un efecto de un

impuesto futuro es adelantar el consumo al presente, reduciendo la inversión hoy y dejando un stock de capital menor.

El crecimiento de la economía a lo largo del tiempo depende del crecimiento de la población, la acumulación de capital y el avance tecnológico (reflejado en el crecimiento de la productividad total de los factores).

3.2.1.2. Los agentes

Hay cuatro agentes principales en el modelo. Los hogares proporcionan mano de obra (de forma inelástica) y compran bienes y servicios; poseen parte del stock de capital y reciben dividendos de las empresas, reciben ingresos del trabajo y la tierra que ofrecen, reciben transferencias del gobierno (incluida la seguridad social) y del resto del mundo. Los hogares también pagan impuestos y ahorran una parte de sus ingresos. Las empresas producen productos básicos utilizando insumos intermedios y primarios comprados en el mercado; su flujo de caja se utiliza en parte para pagar dividendos a los hogares e impuestos al gobierno, y el resto se ahorra como ganancias retenidas. El gobierno tiene varias funciones económicas; utilizando el sistema fiscal, recauda y redistribuye los ingresos a través de impuestos, subsidios y transferencias a los hogares, a las empresas y al resto del mundo. Específicamente, impone impuestos sobre el capital, el trabajo y los dividendos. También recauda impuestos sobre la propiedad; un impuesto al valor agregado (IVA) sobre los productos; impuestos especiales sobre alcohol, tabaco, hidrocarburos, electricidad e hidrocarburos al por menor; un impuesto sobre las ventas; otros impuestos sobre la producción. Finalmente, recibe contribuciones a la seguridad social e impuestos de importación (aranceles). El gobierno también compra bienes y servicios, invierte y paga intereses sobre la deuda soberana. El déficit público se cubre con préstamos internos y externos. El gobierno tiene el poder de

agregar nuevos impuestos o modificar los existentes; incluso más allá del sistema tributario, el gobierno puede imponer o modificar regulaciones que afecten el funcionamiento de la economía. Por último, el sector exterior (o "el resto del mundo") compra exportaciones mientras suministra importaciones e inversión extranjera. También recibe y paga transferencias desde y hacia hogares, empresas y gobierno.

3.2.1.3. Producción, oferta y demanda

Por el lado de la producción, el modelo incluye una representación muy detallada de la economía, con 101 sectores económicos, cada uno de los cuales produce un producto básico. Una de las características más importantes del modelo es el grado de detalle en la representación de diferentes tecnologías de generación de electricidad y tratamiento de residuos.

Las importaciones se combinan con esta producción interna siguiendo el supuesto de Armington (1969), en línea con las funciones de producción de oferta de elasticidad constante (CES); el resultado es una oferta compuesta para la economía. Las exportaciones también son funciones de los precios internos en relación con los precios mundiales. El déficit en cuenta corriente y los precios mundiales de las materias primas se establecen de forma exógena; la depreciación de la variable términos de intercambio reduciría la demanda de importaciones y aumentaría las exportaciones.

La demanda total de un producto básico consiste en la demanda intermedia junto con la demanda final de los hogares, el gobierno, la inversión y las exportaciones.

Los factores de producción considerados en el modelo son capital, trabajo, tierra, energía y otros intermedios. Las funciones de producción son de la forma Cobb-Douglas. Las elasticidades de sustitución son, por lo tanto, típicamente más altas que las

formas de elasticidad constante utilizadas en otros modelos (por ejemplo, *tax distortions and global climate policy* (Babiker et al., 2003)).

Cada industria se caracteriza por tener rendimientos constantes de escala, por lo que la producción se expande en proporción a los insumos. Sin embargo, existe la posibilidad de que los coeficientes técnicos cambien con el tiempo de dos formas diferentes: (1) por el progreso tecnológico, lo que lleva a una mayor producción con los mismos insumos; y (2) por el cambio tecnológico sesgado, que conduce a cambios en la demanda de insumos no relacionados con los precios. El insumo de capital para cada industria se toma del stock de capital total. Este stock cambia con el tiempo; aumenta con nuevas inversiones y disminuye con la depreciación. Supone que la mano de obra es móvil entre sectores y su oferta total es una función exógena de la población en edad de trabajar teórica y las previsiones de desempleo. El factor tierra se considera para tres industrias: agricultura, ganadería y caza; productos de silvicultura, explotación forestal y servicios relacionados; y pescado y otros productos pesqueros. La oferta de tierra se fija exógenamente.

3.2.1.3. La energía y el módulo medioambiental

Los productos básicos identificados incluyen energía: carbón, petróleo, gas natural y electricidad. Se calculan los coeficientes de entrada de energía (para los cuatro productos básicos citados) utilizando datos de la Agencia Internacional de Energía (AIE) (AIE, 2021) sobre el consumo total de energía y la tabla de input-output para España (INE, 2021), para el período 2007-2016, tomando como año base 2007. Estos coeficientes permiten estimar el consumo de energía en términos de petróleo, carbón, gas y electricidad, para varias políticas y a lo largo del tiempo. Se utiliza un coeficiente promedio para todas las industrias, ya que existen datos de cantidades sectoriales sobre

el uso de hidrocarburos (solo existen datos de insumo-producto en términos monetarios) y porque el interés es el de examinar el uso general de energía.

El uso de energía de diferentes fuentes de energía primaria está vinculado a las emisiones de CO_2 utilizando datos de la AIE sobre las emisiones de CO_2 de la quema de combustibles de carbón, petróleo y gas natural (IEA, 2021). De esta manera, las emisiones de carbono y los impactos que las diferentes políticas tendrán sobre ellas, se pueden rastrear a lo largo de los años.

En el Apéndice VII se encuentra una explicación detallada de la base matemática del modelo que se acaba de exponer.

3.2.2. Preparación del modelo

Para poder aplicar el modelo fue necesario recopilar y tratar datos que se utilizaron como entradas en el modelo, así como una serie de variables. Los datos se centraron en las industrias que son de interés en este trabajo, es decir, las más contaminantes. En el caso de las variables exógenas del modelo, se consideraron constantes, salvo las que son de interés para el estudio, la productividad total de los factores, la tasa de ahorro y el tamaño de la fuerza laboral. De estas variables se tomaron proyecciones en los horizontes temporales propuestos en el modelo.

3.2.2.1.Datos

Como se ha explicado anteriormente, una de las partes principales del modelo es su alimentación con datos de la economía española. El núcleo del modelo es la matriz de contabilidad social (SAM) de la economía española. Consiste en una matriz cuadrada que contiene información sobre el flujo de pagos entre los diversos actores de la economía: materias primas, industrias, capital, trabajo, hogares, empresas, gobierno y

sector exterior, con detalles sobre impuestos, aranceles, inversiones y ahorros. Para obtener una descripción detallada de las diferentes industrias de interés para este estudio (principalmente electricidad y tecnologías de tratamiento de desechos), se ha construido una matriz de este tipo a partir de datos obtenidos principalmente del Instituto Nacional de Estadística (INE) y la base de datos EXIOBASE (EXIOBASE, 2015).

La matriz construida permite una distinción entre productos y actividades (es decir, industrias), empleando tablas de origen y destino. Estas tablas a precios de comprador se han obtenido del Instituto Nacional de Estadística de España (INE) y del conjunto de datos EXIOBASE. Esta base de datos ofrece un marco de input-output para 2007, que incluye cuentas ambientales en gran detalle, desagregadas a un nivel de 163 industrias y 200 productos básicos. Este grado de detalle permite generar nuevas tablas de origen y destino, tomando como punto de partida las tablas del INE y desglosando las industrias de electricidad y tratamiento de residuos utilizando las tablas EXIOBASE. Al hacerlo, se puede completar la matriz (SAM) corrigiendo inconsistencias entre la información de EXIOBASE y la información que proviene del INE y del Gobierno de España. Después de los ajustes (se agregan industrias para mostrar la correspondencia entre industrias y productos básicos y reducir el número de industrias (muy) pequeñas o irrelevantes en el análisis), la matriz resultante comprende 101 industrias y productos básicos, con detalles sobre diferentes tecnologías de generación de electricidad (es decir, carbón, gas, nuclear, hidroeléctrica, eólica, petróleo, biomasa, solar, de las olas, geotérmica y otras) y tecnologías de tratamiento de desechos (incluyendo, para diferentes fracciones de residuos, incineración, biogasificación, compostaje y vertedero). Para completar la SAM, se utiliza información adicional de las tablas INE (INE, 2021) y EXIOBASE (EXIOBASE, 2015), incluyendo los componentes de la demanda final, las importaciones y los datos sobre impuestos, remuneración de los

empleados, empleo y superávit operativo. Los datos sobre el stock de capital y las tasas de depreciación por industria se obtienen del proyecto EU KLEMS sobre cuentas de crecimiento y productividad (Jäger, 2016).

Las cuentas gubernamentales, incluidas las cuentas de la Seguridad Social y los impuestos, se han obtenido de la Intervención General de la Administración del Estado (IGAE); contienen información sobre la composición y usos de los recursos públicos. Las cuentas del sector exterior provienen del INE y contienen detalle de la balanza de pagos. Las cuentas corporativas se obtuvieron del Banco de España y contienen el detalle de las cuentas anuales de las empresas. Las cifras relativas al consumo de carbón, petróleo y gas natural, y las emisiones de CO_2 y equivalente asociadas, se han obtenido de la IEA (IEA, 2020).

La matriz incluye información detallada sobre los diferentes impuestos a las industrias: impuestos al valor añadido (IVA), impuestos a las ventas, impuestos especiales al alcohol, tabaco, hidrocarburos, electricidad e hidrocarburos al por menor y otros impuestos a los productos. En cuanto a las materias primas, contiene detalles sobre aranceles e IVA para las importaciones.

La siguiente tabla (Tabla 1) resume la SAM de la economía española para 2007. Las columnas representan los pagos, mientras que las filas representan los ingresos. Por ejemplo, en la columna de Hogares podemos ver que los hogares gastaron 604.429 millones de euros en bienes y servicios, mientras que en la columna de Gobierno vemos que las administraciones públicas en España transfirieron un total de 155.808 millones de euros a los hogares. En algunos casos, se han incluido valores netos, lo que implica pagos menos cargos. Por ejemplo, la columna Empresa emite pagos al gobierno (principalmente del impuesto sobre la renta de las sociedades) menos las transferencias

del gobierno a las empresas, lo que arroja un pago neto de las empresas al gobierno de 89.388 millones de euros.

Tabla 1

Resumen del SAM de la economía española, 2007, en millones de euros

	Mercancías	Industria	Trabajo	Capital	Tierra	Hogares	Empresas	Gobierno	Impuestos menos subvenciones a productos	Otros impuestos sobre productos	Seguridad Social	Aranceles	IVA de las importaciones	Capital a/c	Resto del Mundo	Total
Mercancías		1.126.644				604.429		193.474						326.422	283.331	2.534.300
Industria	2.151.706															2.151.706
Trabajo		510.296														510.296
Capital		414.982														414.982
Tierra		18.822														18.822
Hogares			373.879		18.822		299.539	155.808							-20.312	827.736
Empresas				404.703												404.703
Gobierno				10.279		84.363	89.388		80.238	724	136.417	145	28.330	-14.328		415.646
Impuestos menos subvenciones a productos		80.238														80.238
Otros impuestos sobre productos		724														724
Seguridad Social			136.417													136.417
Aranceles	145															145
IVA de importaciones	28.330															28.330
Capital a/c						138.944	15.776	49.467							107.996	312.184
Resto del Mundo	354.119							16.897								371.016
TOTAL	2.534.300	2.151.706	510.296	414.982	18.822	827.736	404.703	415.646	80.238	724	136.417	145	28.330	312.184	371.016	

Nota: Elaboración propia con datos de AIE - IEA (2020) y EXIOBASE (2015)

3.2.2.2.Variables exógenas

Hay varias variables exógenas en el modelo. Dada la incertidumbre sobre la evolución de estas variables y el propósito de esta investigación, se asumió que la mayoría de ellas se mantendrán constantes durante el período de análisis. Sin embargo, se pueden asumir distintas proyecciones, dependiendo de la evolución esperada de las variables o del objetivo del análisis.

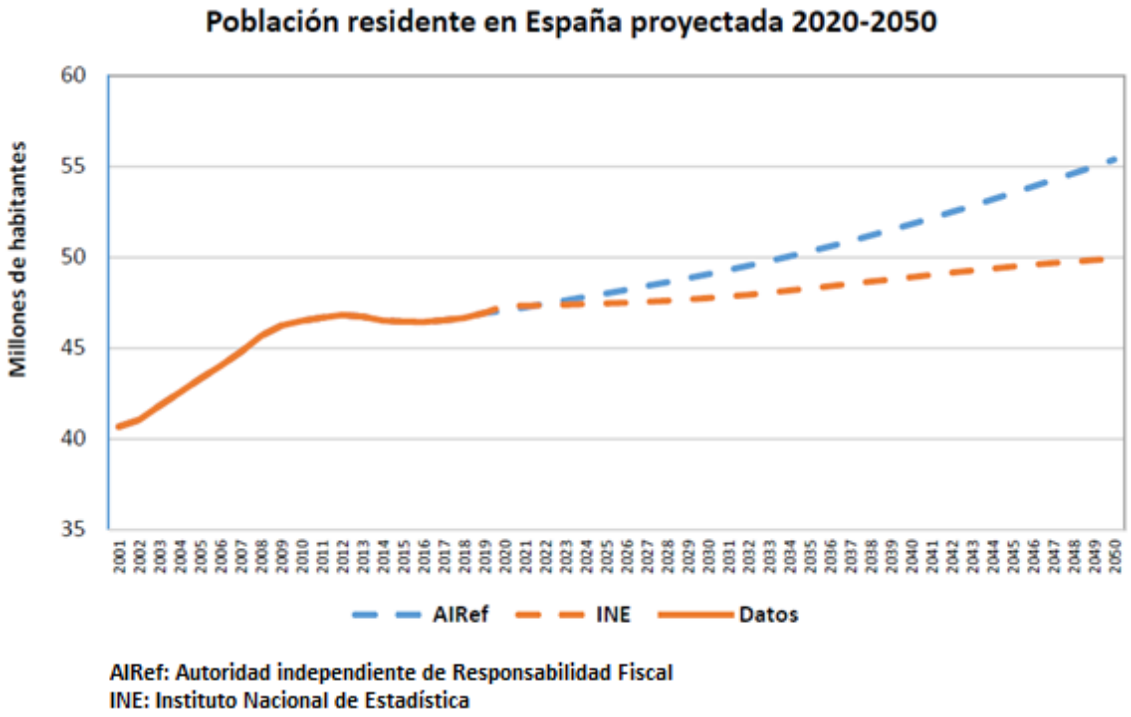
Las variables que se mantuvieron constantes durante los años de análisis son el déficit público en relación al PIB; intereses pagados por el gobierno; pagos del gobierno al resto del mundo; transferencias netas del resto del mundo a los hogares; y la tasa de dividendos (los dividendos se pagan con cargo a los ingresos totales de la empresa menos los impuestos). Las funciones de consumo e inversión de los hogares dependen de los precios y los ingresos, y también se previó que los parámetros de participación que determinan la asignación a los productos básicos individuales siguieran siendo los mismos, ya que no se esperaron cambios sustanciales en los patrones. También se supuso que la tasa de ahorro y los coeficientes técnicos input-output permanecieran sin cambios durante el período de análisis.

Se hicieron proyecciones para las principales variables exógenas que impulsan el crecimiento del modelo, como son la productividad total de los factores, la tasa de ahorro y el tamaño de la fuerza laboral. Los datos sobre población (de 2007 a 2016) y proyecciones de población (2020-2050) se obtuvieron del INE (Figura 53). La fuerza laboral se basó en datos de población en edad de trabajar de EXIOBASE y se supuso que aumentó al mismo ritmo que la población en general después de tener en cuenta una transición sin problemas a la tasa de desempleo a largo plazo. El crecimiento de la productividad total de los factores se calibró para generar una tasa de crecimiento del PIB anual de alrededor del 2% en el caso base (tomando una media del crecimiento

español antes de 2020), dado el crecimiento del trabajo y la inversión determinados por la tasa de ahorro exógeno. Se proyectó que el déficit en cuenta corriente disminuiría con el tiempo para ser consistente con el equilibrio a largo plazo.

Figura 53

Población residente en España proyectada 2020-2050



Nota: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - INE (2019c)

El supuesto de déficit exógenos y pagos de intereses no es importante para los resultados en este modelo recursivo. Afectaron los niveles del caso base, pero tuvieron poco efecto sobre el cambio porcentual debido a una política fiscal. La asunción de una cuenta corriente fija en un modelo con previsión perfecta habría tenido un impacto importante al excluir la capacidad de los agentes de la economía para endeudarse con el objetivo de suavizar el consumo. Sin embargo, en el modelo recursivo, este canal fue menos importante. El tamaño del supuesto déficit en cuenta corriente fue importante

para los niveles del caso base, pero también habría tenido un efecto pequeño en los impactos de las políticas. La especificación del cambio técnico sesgado exógeno permitió especificar un caso base que se adaptó a otra evidencia econométrica y juicios de expertos sobre mejoras continuas en la eficiencia energética (a los mismos precios relativos). Este modelo no permite cambios técnicos endógenos, que hubieran sido más relevantes para la evaluación de políticas de I + D.

3.2.3. Escenarios

Existe una gran cantidad de literatura sobre la mejor opción para reciclar los ingresos generados por los impuestos ambientales. La mayoría de los estudios sugieren que reciclar estos ingresos mediante la reducción de los impuestos, que producen ineficiencias en los mercados, es más eficiente que devolverlos mediante transferencias directas netas a los hogares u otros agentes económicos (McKitrick, 1997; Kemfert & Welsch, 2000; Carbone et al., 2013; Jorgenson et al., 2013; Sajeewani et al., 2015).

A continuación, se describen los escenarios de políticas medioambientales para las simulaciones a realizar con el modelo descrito, así como los cálculos que se llevan a cabo para obtener los resultados en términos de impactos ambientales y económicos.

Las emisiones totales de carbono, $CO_2(t)$, para el período t, en el modelo se definen como:

$$CO_2(t) = \sum_i \theta_i (QI_{it} - X_{it} + M_{it}) \tag{1}$$

(Ver ecuación A47 en Apéndice VII para el caso general).

Donde θ_i es el coeficiente de emisiones por tipo de combustible en toneladas de CO_2 por cada euro; QI_{it} es la producción del bien i; X_{it} son las exportaciones del bien i; y M_{it} son las importaciones del bien i (ver Apéndice VIII). En este caso, i es carbón, petróleo y gas. Específicamente, los bienes considerados en la SAM son: carbón y turba de lignito; petróleo crudo y servicios relacionados con la extracción de petróleo crudo, excepto topografía; y gas natural y extracción de minerales de uranio y torio.

Para realizar la primera simulación se utilizó la información incluida en la SAM, con las tasas impositivas reales, para la obtención de una ruta de crecimiento partiendo del caso base. Después se aplicó el modelo con un impuesto al carbono (escenario de política medioambiental). El impuesto al carbono por unidad de combustible j es:

$$t_j^c = t^x \theta_j \tag{2}$$

Donde t^x es el impuesto al carbono expresado en euros por tonelada de carbono; y θ_j es el coeficiente de emisiones por tipo j de combustible. El escenario de política asumió que el impuesto al carbono se impuso todos los años y estuvo indexado por el deflactor del PIB. Dado que los precios relativos de diferentes productos básicos cambiaron a medida que evolucionó la economía, el impuesto al carbono en relación con el valor de productos básicos específicos cambió con el tiempo.

El impuesto al carbono generó nuevos ingresos para el gobierno, pero para establecer la neutralidad presupuestaria, se redujeron otros impuestos. Si los déficit del gobierno se mantuvieron iguales a los niveles del caso base, el gasto público real debió seguir siendo el mismo que en el caso base. Para escalar las tasas impositivas reales en los casos de política, se introdujo una variable endógena adicional λ_t en el sistema de ecuaciones:

$$t_{jt}^{w;CP} = \lambda_t t_{j0}^{w}$$

(3)

Donde $t_{jt}^{w;CP}$ es la tasa impositiva para el impuesto w en el sector j bajo la política medioambiental CP (el 0 indica caso base). Además, para mantener neutral el gasto público, fue necesario agregar una restricción en los escenarios de política medioambiental:

$$GG_{CP}(t) = GG_{base}(t)$$

(4)

Donde GG es la cantidad agregada de compras del gobierno (ecuación A31 en Apéndice VII). Esta variable fue endógena en el caso base y esta ecuación aseguró que la utilidad derivada de las compras reales del gobierno permaneció sin cambios en los escenarios de política medioambiental. También fue necesario que las tasas impositivas fueran endógenas multiplicando los impuestos preexistentes con la variable de escala λ_t.

El modelo se implementó en GAMS (GAMS, 2022) y se aplicó la rutina de optimización CONOPT4 (ver Apéndice IX para ampliar información sobre GAMS y la rutina CONOPT) para encontrar el conjunto de precios de compensación del mercado. Se simularon varios niveles del impuesto al carbono (euros/tonelada de CO_2). Para cada nivel de t^x se mantuvo la neutralidad de los ingresos usando λ_t como se explicó anteriormente. Aunque se probaron muchas tasas impositivas, el estudio se centró en los resultados de un impuesto al carbono de 10, 20 y 30 €/tonelada de CO_2, ya que este rango de impuestos arrojó resultados con y sin el impacto de la demanda. Para cada precio del carbono se analizaron cuatro casos diferentes: (1) sin reciclaje de ingresos, con los nuevos ingresos de carbono utilizados para compras gubernamentales más altas,

(2) impuestos reducidos sobre el capital, (3) impuestos reducidos sobre el trabajo y (4) impuestos reducidos sobre el valor añadido sobre bienes y servicios. Después de ejecutar los modelos con estos escenarios, se compararon con la senda del caso base.

3.3. Análisis de las medidas actuales y comparación con las medidas de los socios de la UE

Una vez estudiado el procedimiento para aplicar el modelo de economía-clima en España, se pretende comparar lo que se propone en el modelo con lo que actualmente está aplicando el Gobierno de España para mitigar las emisiones de GEI.

Para ello, sería necesario analizar en primer lugar las medidas que está tomando el Gobierno de España para reducir las emisiones de GEI. Por este motivo se ve necesario poner en situación las emisiones de la economía española con respecto a las de la Unión Europea. Lo que se pretende es comprobar en qué situación, de cara a las emisiones, se encuentra España en el marco europeo. Esto se lleva a cabo mediante estudios comparativos (relativos y absolutos, para poder facilitar la comparación) de las emisiones, centradas en las variables del modelo.

Posteriormente, una vez puestas las emisiones españolas en situación frente a las de los socios europeos, se analizarán las medidas propuestas para los sectores no adscritos al comercio de derechos de emisión (sectores difusos). Lo que se persigue con este estudio es comprobar si la reducción de las emisiones de la economía española será suficiente para cumplir con el marco legal europeo, o si, por otro lado, es necesario implantar una nuevo sistema tributario para las emisiones.

Para esto, siguiendo los métodos descritos en el apartado 3.1, se han consultado los informes más recientes del Gobierno de España, así como los objetivos ya indicados del “Pacto Verde Europeo”.

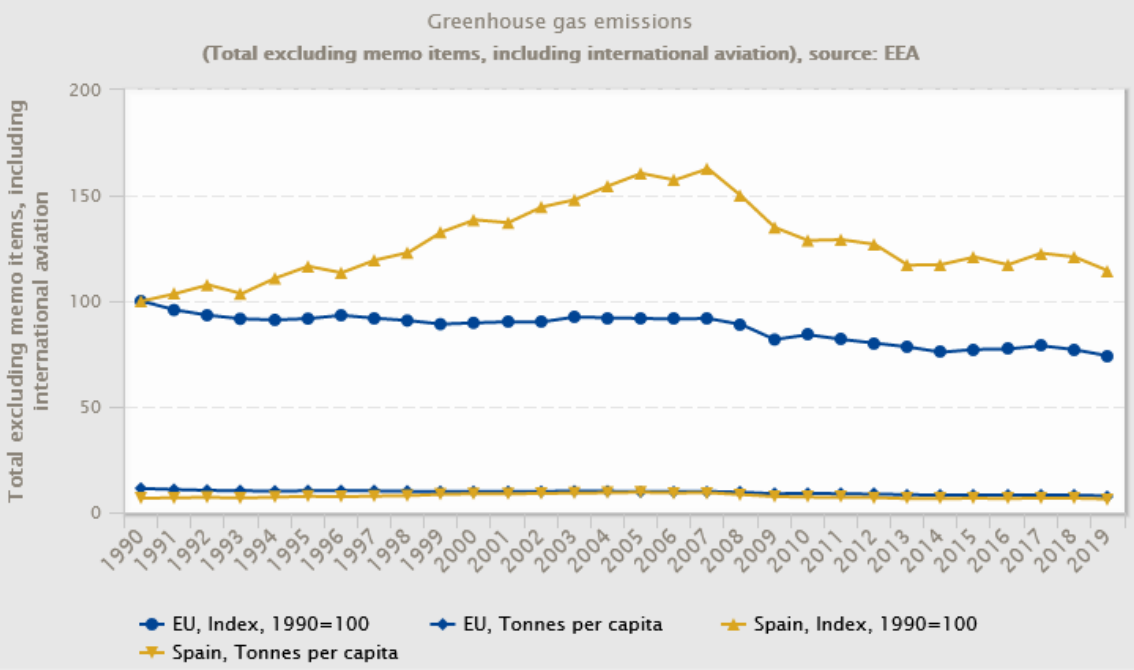
3.3.1. Resultados del análisis comparativo de las emisiones españolas frente a las de la UE

Si se analizan las medidas que está tomando el Gobierno de España para reducir las emisiones de GEI se ve necesario poner en situación las emisiones de la economía española con respecto a las de la Unión Europea. El motivo es claro: España tiene que cumplir con las políticas europeas del "Green Deal" que pretenden aplicar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Comenzando con las emisiones totales (Figura 54), se puede observar que las emisiones brutas per cápita tanto de España como de la UE son muy similares. Ahora bien, si tomamos como base el año 1990 y se analiza en cálculo relativo, se apreciarán variaciones más elevadas, sobre todo en el caso español. Mientras que las emisiones relativas de la UE tienen una leve pendiente negativa, las españolas han experimentado un fuerte crecimiento hasta finales de 2007. Una vez estalla la crisis en esa época, las emisiones cambian de tendencia, para decrecer y mantener la nueva pendiente negativa. Las emisiones brutas se encuentran parejas a la media de los países de la UE, pero las emisiones relativas con base 1990 son algo superiores para España (EUROSTAT, 2020).

Figura 54

Emisiones de GEI totales de España en comparación con la UE (brutas y base 1990)

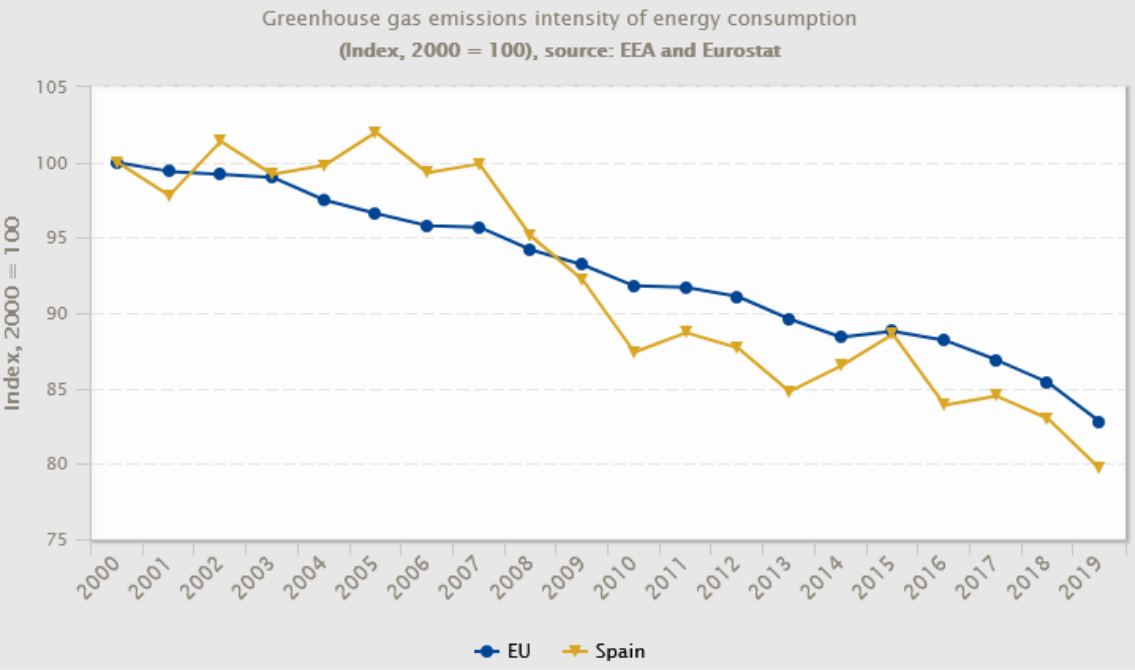


Nota: EUROSTAT (2020)

Dado que la generación de electricidad supone un aporte importante a las emisiones de GEI, se ve necesario hacer también el estudio comparativo (Figura 55). Tomando como base el año 2000 se puede observar una tendencia decreciente para las dos regiones. En el caso español se puede apreciar un repunte, coincidiendo con el crecimiento del PIB del país anterior a la crisis de 2007, y después un cambio de tendencia. Este cambio de tendencia fue interrumpido por la recuperación económica iniciada en 2013. De nuevo vuelve a tendencia negativa en 2015 con la aplicación de las medidas para limitar y reducir las emisiones. Podría decirse que esta variable se encuentra alrededor de la media de los países miembros (EUROSTAT, 2020).

Figura 55

Emisiones de GEI por consumo energético de España en comparación con la UE

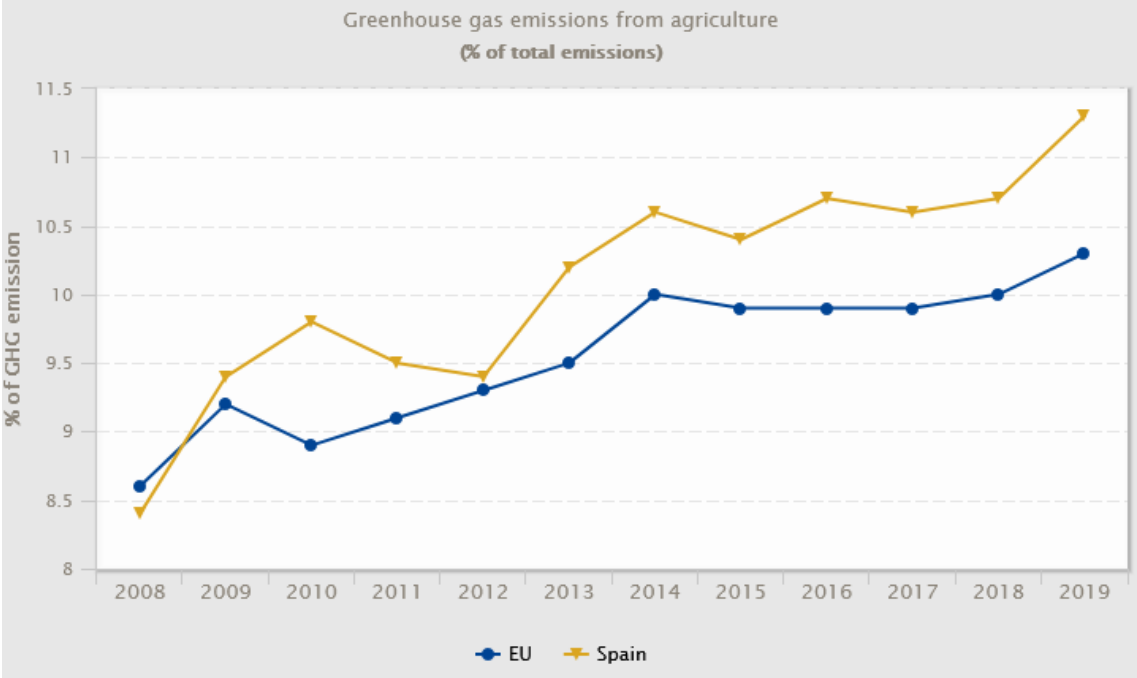


Nota: EUROSTAT (2020)

En el caso de la agricultura (Figura 56) se puede apreciar una senda creciente con respecto al total de emisiones en ambas regiones. En el caso de España el porcentaje de emisiones es mayor que el de la UE por la importancia del sector agrario español con respecto a la media europea. El aumento del comercio exterior español de este sector también explica la divergencia entre España y la UE en los años 2018 y 2019. Como conclusión, por encima de la media de los países de la UE (EUROSTAT, 2020).

Figura 56

Emisiones de GEI de la agricultura de España en comparación con la UE

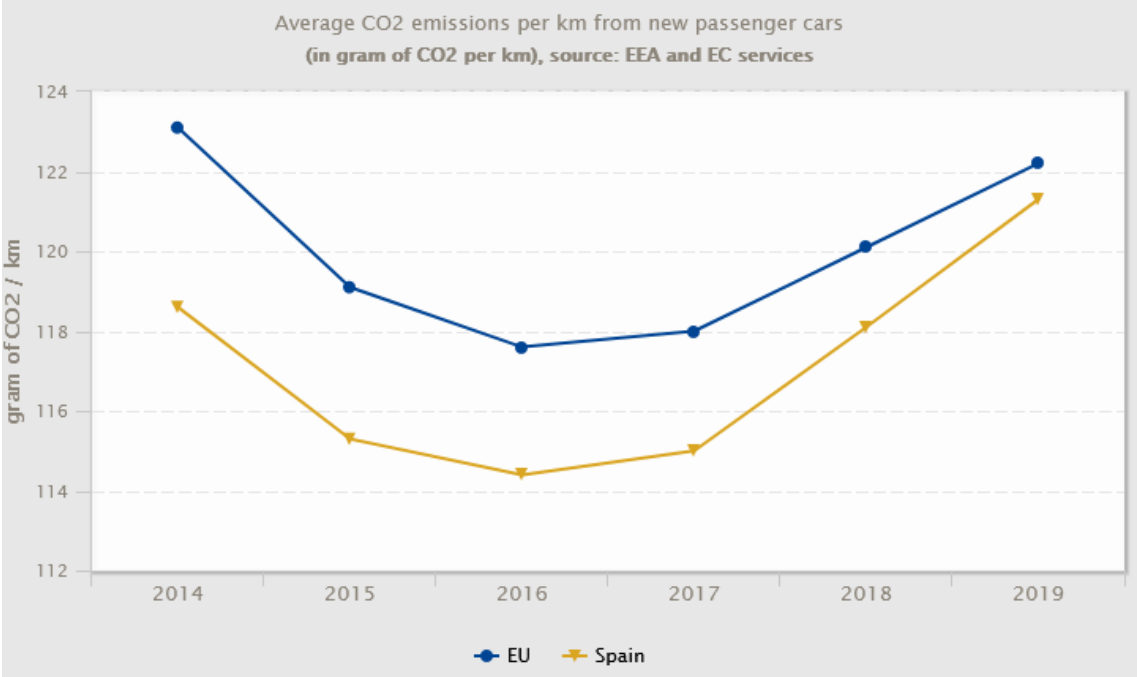


Nota: al analizar el porcentaje de emisiones de la agricultura sobre el total de emisiones, permite comparar directamente con el resto de países de la UE. EUROSTAT (2020)

Analizando el sector de la automoción privada (Figura 57) se puede observar una caída de las emisiones hasta 2016 en ambas regiones, como consecuencia de la crisis de 2007. A partir de este año vuelven a aumentar las emisiones como consecuencia de la dinamización de la economía tras la crisis, lo que hace que los particulares usen más el coche para sus desplazamientos. En resumen, por debajo de la media de la UE.

Figura 57

Emisiones medias de CO_2 por kilómetro de los coches privados de España en comparación con la UE

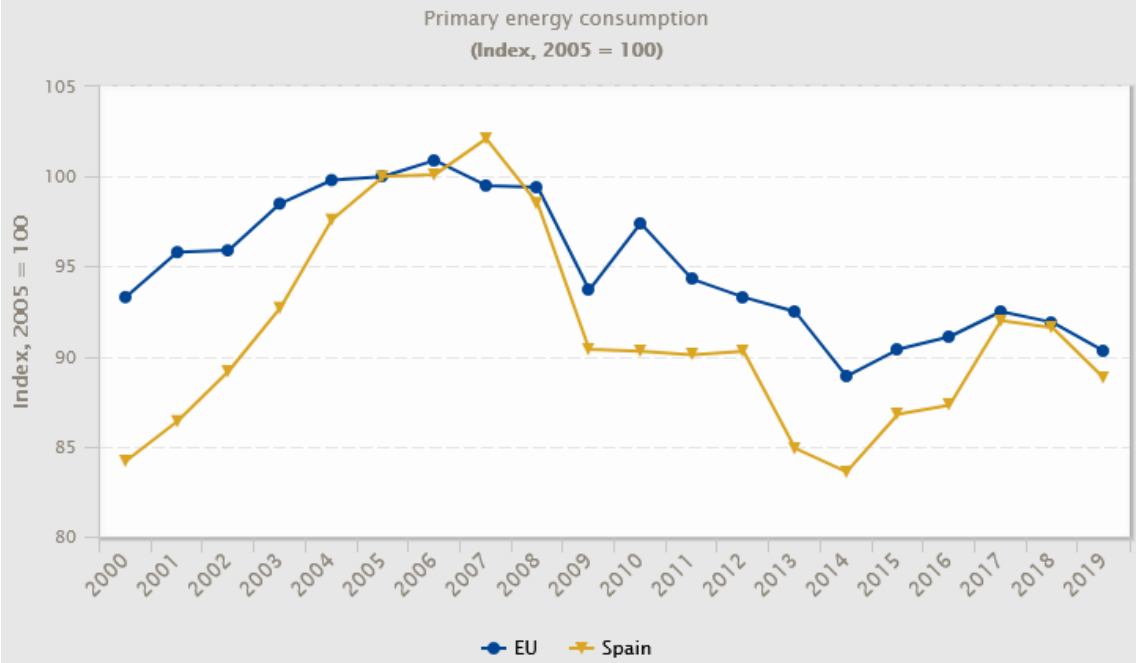


Nota: EUROSTAT (2020)

En cuanto al consumo energético primario (consumo de energía existente en la naturaleza para la producción de energía que pueda consumirse, Figura 58) las tendencias son muy similares, aunque se pueden observar variaciones ligadas al crecimiento en el caso español. Se aprecia un fuerte crecimiento hasta 2007, acompañado de una severa caída desde ese momento y hasta 2009, agudizándose hasta 2013, momento en el que repunta por el inicio de la recuperación económica. Podría decirse que el consumo de energía primario en España es algo inferior que el de los países de la Unión (EUROSTAT, 2020).

Figura 58

Consumo energético primario de España en comparación con la UE

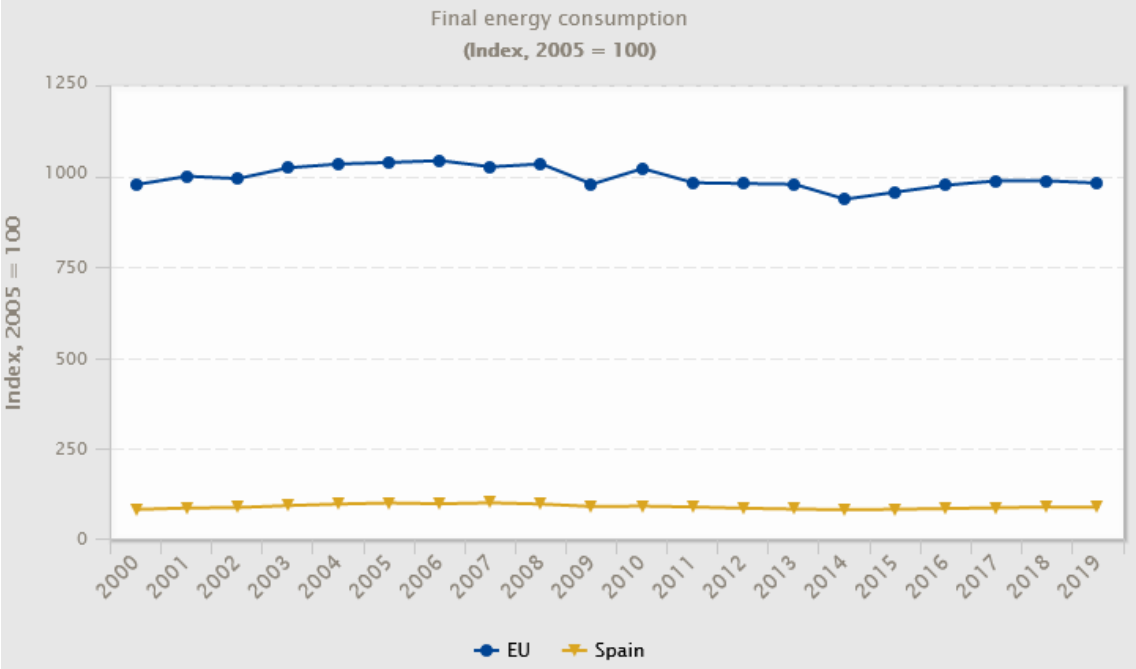


Nota: EUROSTAT (2020)

Si se analiza el consumo final de energía en España (consumo de energía secundaria, Figura 59), el resultado es que, tomando como base 2005, es mucho menor que la media de los socios europeos.

Figura 59

Consumo de energía final de España en comparación con la UE

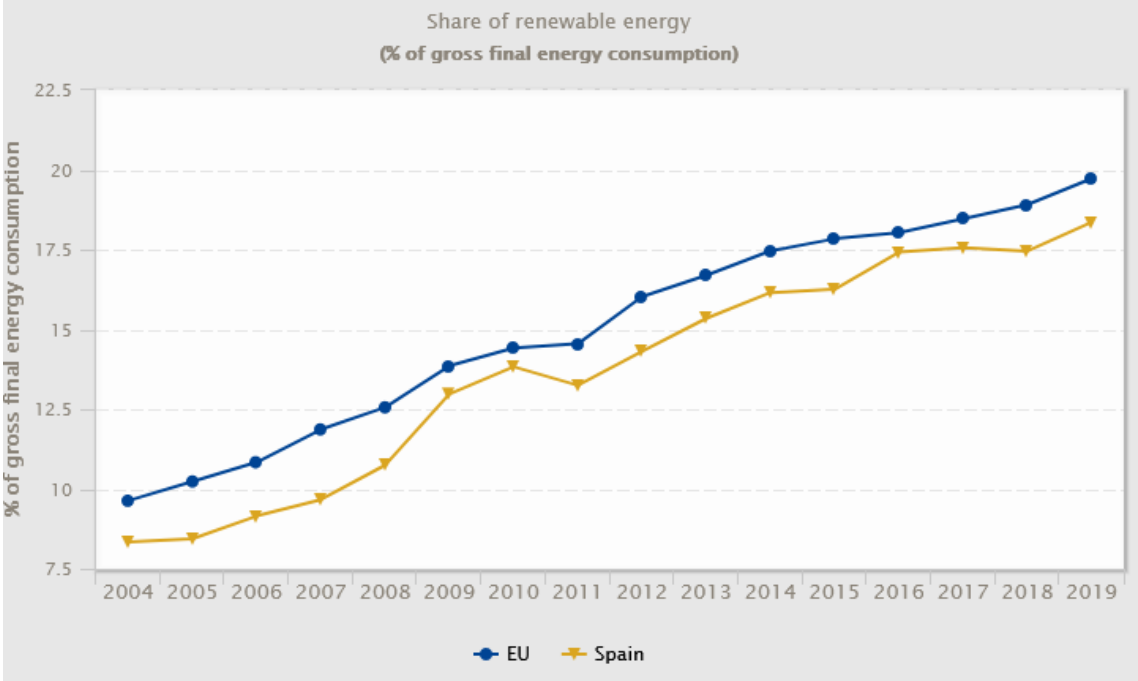


Nota: EUROSTAT (2020)

A la hora de comparar el porcentaje de energía generada mediante renovables sobre el total de la energía generada (Figura 60), puede decirse sin ningún género de duda que la cantidad de energía generada con renovables en España es levemente inferior a la de la media de sus socios europeos.

Figura 60

Porcentaje de energías renovables de España en comparación con la UE

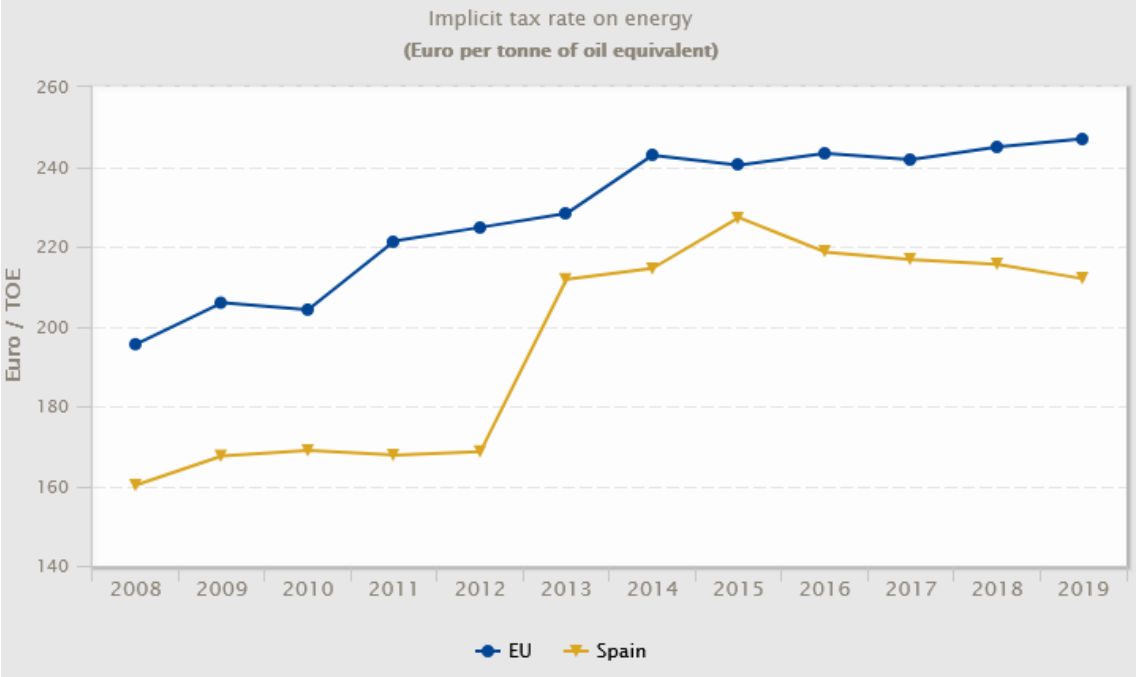


Nota: EUROSTAT (2020)

Estudiando los impuestos implícitos en la energía (entre ellos, los impuestos medioambientales, Figura 61), se observa que hasta 2012 estos impuestos son notablemente inferiores en el caso español que en el resto de miembros europeos (en media). En ese año se aplica un aumento de los citados impuestos que acerca la tasa española a la europea.

Figura 61

Impuestos implícitos en la energía de España en comparación con la UE

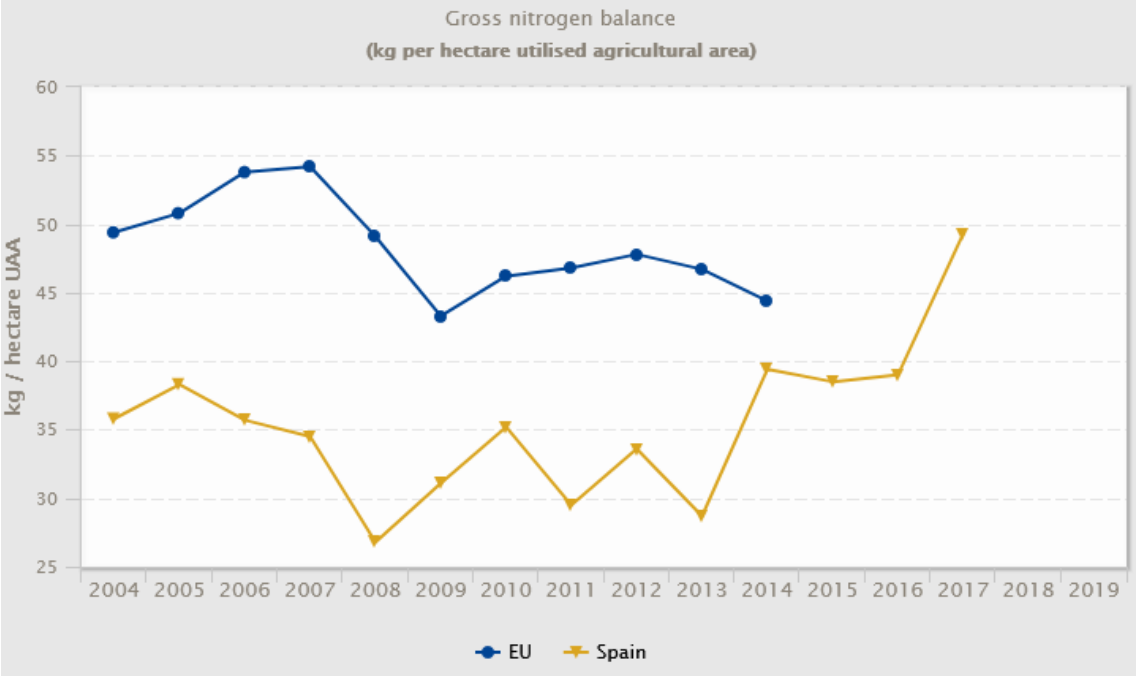


Nota: EUROSTAT (2020)

Para terminar de poner en situación las emisiones españolas con respecto a las europeas, se puede revisar el uso de nitrógeno por hectárea cultivada (Figura 62). Tiene sentido su estudio porque también es una fuente de contaminantes gaseosos. Hasta 2014 se observa que el uso de nitrógeno en la agricultura española es sensiblemente menor que la media de los países europeos. A partir de 2014 no hay datos para la media europea, pero se experimenta un aumento del uso del nitrógeno en España. Esto puede deberse al aumento de la producción destinada a las exportaciones agrarias (EUROSTAT, 2020).

Figura 62

Uso de nitrógeno agrícola de España en comparación con la UE



Nota: EUROSTAT (2020)

3.3.2. Discusión de los resultados del análisis comparativo de las emisiones españolas frente a las de la UE

Como conclusiones a este estudio comparativo se puede decir que España no está tan lejos de la media europea. Bien es verdad que es necesario hacer hincapié en la imposición ambiental, por debajo de la media europea (como se pondrá de manifiesto más adelante en este mismo trabajo); en la tasa de uso de renovables para generación eléctrica (también por debajo de la media de los socios europeos); o en las emisiones de GEI de la agricultura. Tampoco hay que olvidar, para justificar estas deviaciones, dos aspectos importantes: el retraso en el desarrollo español causado por la Guerra Civil y la Posguerra (esto provoca que España, frente a sus socios europeos tenga una brecha -decreciente- en cuanto impuestos, salarios medios y estadio general de desarrollo); y la importancia del sector agrario y ganadero en lo que a exportaciones españolas hacia Europa se refiere.

3.3.3. Resultados del análisis de las medidas propuestas para los sectores no adscritos al comercio de derechos de emisión

Una vez puestas las emisiones españolas en situación frente a las de los socios europeos, se analizarán las medidas propuestas para los sectores no adscritos al comercio de derechos de emisión (sectores difusos). Estos sectores son:

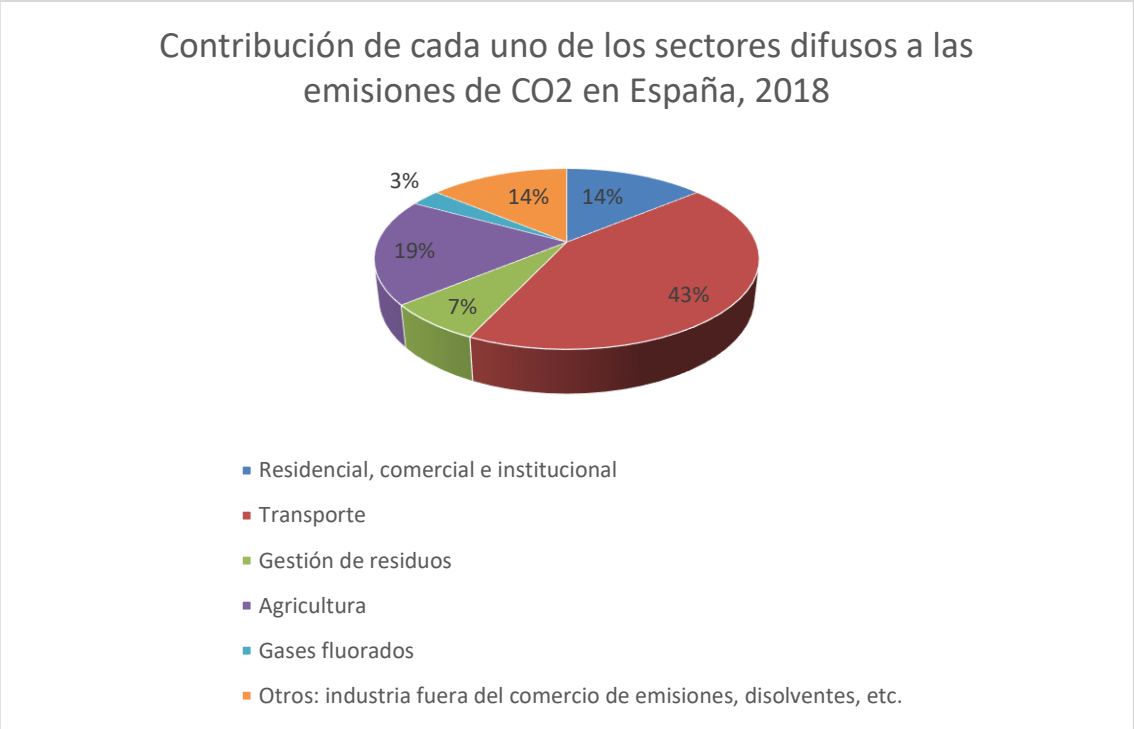
- Residencial, comercial e institucional.
- Transporte.
- Agrícola y ganadero.
- Gestión de residuos.
- Gases fluorados.
- Industria no sujeta al comercio de derechos de emisión.

Dado que estos sectores son responsables de gran parte de las emisiones de la economía española, el Gobierno de España prevé una batería de medidas para tratar de mitigar las emisiones producidas por los citados sectores. Lo que se pretende con este análisis es comprobar si las medidas adoptadas son suficientes para cumplir con el marco legal de la UE (ver senda objetivo en la Figura 64), o si por el contrario será necesario implantar un sistema impositivo como el propuesto en el modelo desarrollado en este trabajo.

Estos sectores, en 2018, fueron los responsables de la emisión de 203,8 $MtCO_2$, que corresponde al 61% de las emisiones totales españolas (Ministerio para la Transición Ecológica y El Reto Demográfico, 2021). En la siguiente figura (Figura 63, tabla de datos en Apéndice XII) se detalla la aportación porcentual de cada uno de los sectores citados:

Figura 63

Contribución de cada uno de los sectores difusos a las emisiones de CO_2 en España, 2018



Nota: Ministerio para la Transición Ecológica y El Reto Demográfico (2021)

Para tratar de reducir las emisiones de estos sectores, el Gobierno de España adopta un plan para el período 2013-2020 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014) en el que se establecen las siguientes 43 medidas repartidas en los 6 sectores que provocan la mayor parte de las emisiones:

Sector residencial, comercial e institucional:

- Rehabilitación en el sector residencial.
- Rehabilitación en el sector institucional de la Administración General del Estado (AGE).
- Rehabilitación en el sector institucional de las Comunidades Autónomas (CC.AA.) y Local.

- Biomasa en calefacción.
- Geotermia en climatización en nuevas edificaciones o reformas importantes.
- Placas solares térmicas para ACS.
- Cambios de conducta en el hogar.
- Cambio ventanas.
- Reparto costes calefacción con válvulas termostáticas.
- Cambio calderas individuales a condensación.

Sector transporte:

- Trasvase modal del vehículo privado a la bicicleta en el transporte de pasajeros.
- Trasvase modal en el transporte de pasajeros del vehículo privado hacia modos de transporte público colectivo.
- Trasvase modal en el transporte de mercancías de la carretera al ferrocarril.
- Renovación natural de la flota de vehículos ligeros conforme a la reducción de CO_2 a 2020.
- Introducción de vehículos de muy bajas emisiones.
- Introducción de biocombustible 2G (ver Apéndice XIII) en el transporte.
- Teletrabajo y otras medidas de reducción de desplazamientos en transporte de pasajeros.
- Conducción eficiente de vehículos.
- Gestión eficiente de las flotas de vehículos.
- Adelantar la vida de renovación natural del parque de vehículos ligeros al óptimo.
- Uso de biogás en el transporte.
- Movilidad cooperativa (*carsharing* y *carpooling*).

Sector agrícola y ganadero:

- Digestión anaeróbica de purines con tratamiento de nitrificación-desnitrificación.
- Digestión anaeróbica de deyecciones ganaderas y otros cosustratos.
- Introducción de leguminosas en praderas gestionadas que utilizaran fertilización sintética.
- Siembra directa.
- Formación para mejorar la eficiencia en la fertilización.
- Conducción eficiente de tractores.
- Utilización de los residuos de poda de cultivos leñosos evitando su quema.
- Incorporación al suelo de los residuos de poda de cultivos leñosos.
- Introducción de cubiertas de leguminosas sembradas en cultivos leñosos en regadío.

Sector residuos:

- Compostaje doméstico o comunitario.
- Recogida separada de biorresiduo con destino compostaje (pequeñas plantas en entornos rurales).
- Recogida separada de biorresiduo con destino compostaje (plantas con capacidad 2.500 – 15.000t).
- Recogida separada de biorresiduo con destino compostaje (plantas con capacidad 15.000 - 50000t).
- Recogida separada de biorresiduo con destino biometanización.
- Reducción desperdicios alimentarios.
- Incremento de la recogida separada de papel en el canal municipal.

Sector gases fluorados:

- Sustitución de HFCs (Hidrofluorocarburos) por equipos de bajo PCA (potencial de calentamiento atmosférico) en equipos de refrigeración y climatización.
- Eliminación de HFC-23 generado como subproducto.
- Correcto mantenimiento de equipos de refrigeración y climatización con HFCs.

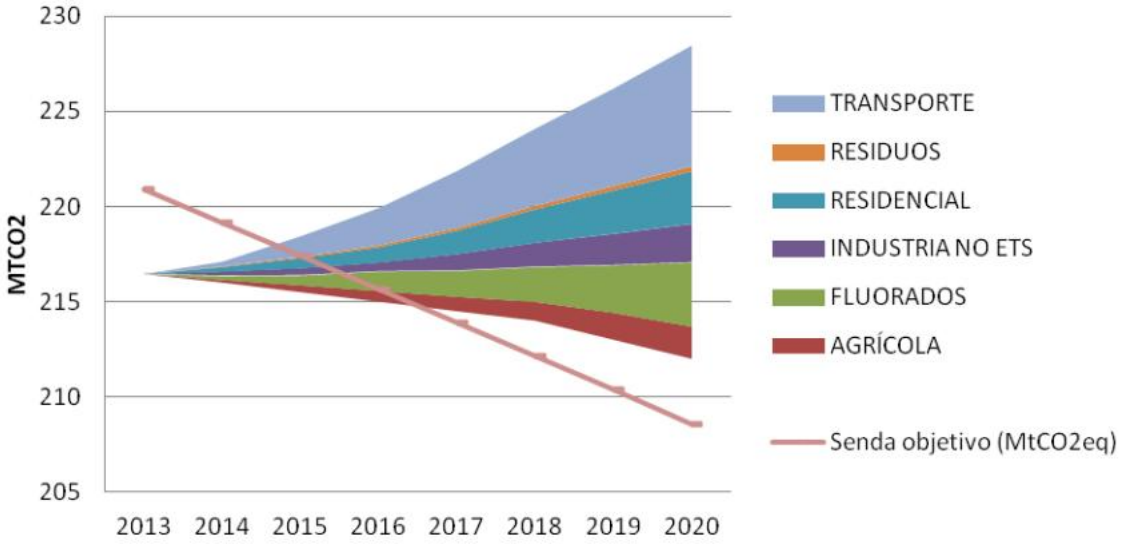
Sector industria no sujeta al comercio de derechos de emisión (ETS):

- Cambio de combustibles en industria no ETS.
- Mejora de eficiencia en industria no ETS.

El objetivo de estas medidas es la reducción de las emisiones, tratando de seguir la senda que se muestra en la siguiente figura (Figura 64). Dado que la senda propuesta era muy ambiciosa, se puede observar una brecha notable entre la realidad de las emisiones y la senda pretendida.

Figura 64

Contribución de cada sector para cubrir la brecha entre las proyecciones y la senda de emisiones, propuesta por la hoja de ruta

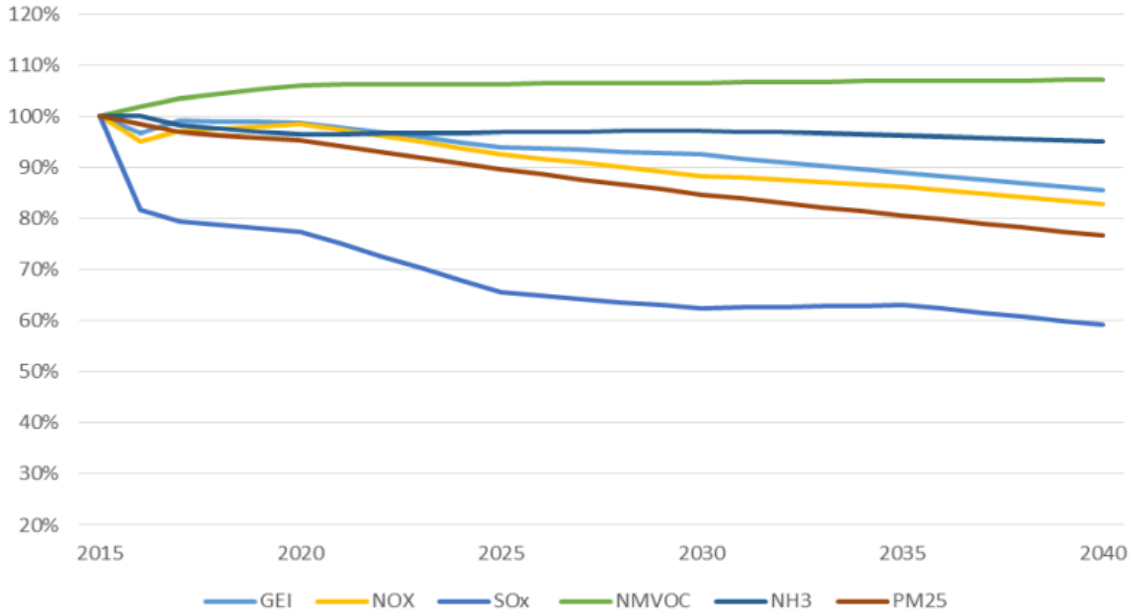


Nota: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2014)

A la vista de los resultados, se elaboran planes de actuación en dos escenarios: el que contempla las medidas actuales (WeM, Figura 65); y el que contempla la aplicación del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, ver Apéndice XIV para más información) y del Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica (PNCCA, ver Apéndice XV para más información), con medidas medioambientales adicionales (WaM, Figura 66). Para realizar las proyecciones se toma como período base las emisiones históricas de 1990 a 2016, que es el último inventariado. Se puede observar una caída notable en las emisiones de todos los contaminantes teniendo en cuenta un escenario donde se aplican medidas adicionales.

Figura 65

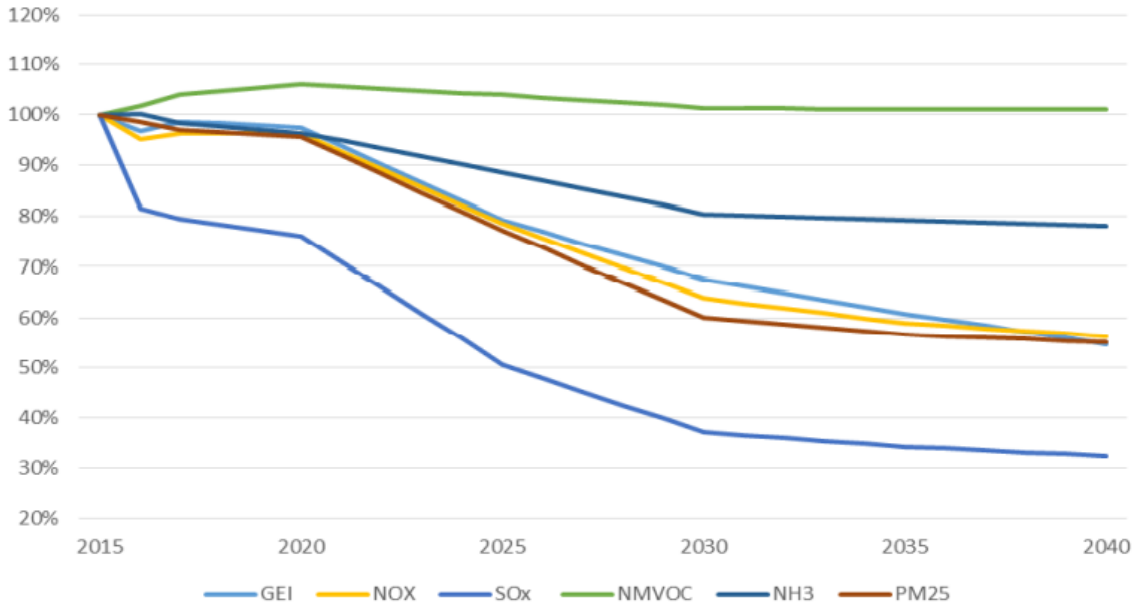
Evolución de las emisiones proyectadas desde 2015 a 2040 en el escenario tendencial (WeM)



Nota: Gases de Efecto Invernadero (GEI), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), óxidos de azufre (SO_x), amoniaco (NH_3) y material particulado (PM2.5). S.G. de calidad del aire y medio ambiente industrial (2019)

Figura 66

Evolución de las emisiones proyectadas desde 2015 a 2040 en el escenario con medidas adicionales (WaM)

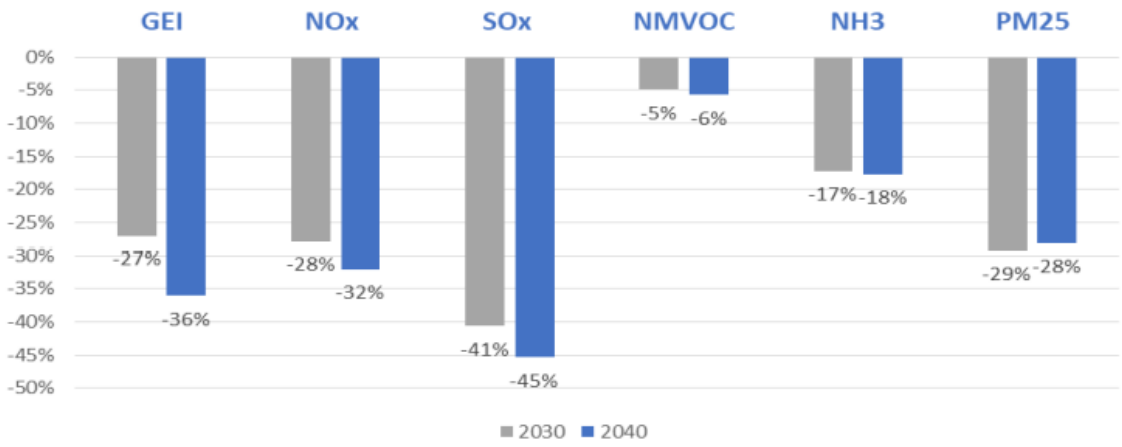


Nota: Gases de Efecto Invernadero (GEI), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), óxidos de azufre (SO_x), amoniaco (NH_3) y material particulado (PM2.5). Fuente: S.G. de calidad del aire y medio ambiente industrial (2019)

Para poder comprobar de una manera más visual el impacto de las medidas adicionales, se ha confeccionado la siguiente gráfica comparativa de contaminantes (Figura 67):

Figura 67

Impacto de las políticas y medidas en los años 2030 y 2040 (vs 2015) en los dos escenarios proyectados



Nota: Gases de Efecto Invernadero (GEI), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), óxidos de azufre (SO_x), amoniaco (NH_3) y material particulado (PM2.5). S.G. de calidad del aire y medio ambiente industrial (2019)

En cuanto a las actuaciones de carácter transversal (que afectan a varios sectores), pueden encontrarse los siguientes programas (Ministerio para la Transición Ecológica y El Reto Demográfico, 2020):

- Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de CO_2: tiene carácter voluntario y su objetivo es el de promover el cálculo y la reducción de la huella de carbono de las organizaciones y empresas españolas, además de promover proyectos que aumenten la capacidad de captura de carbono de España. (destrucción de emisiones de GEI).

- Planes de Impulso al Medioambiente (PIMAs): promoción de acciones beneficiosas para el medio ambiente, como mejorar la calidad del aire o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Dependiendo del esquema, se brinda apoyo directo o se compran reducciones de CO_2. Se pueden destacar los siguientes:
    - PIMA TRANSPORTE
    - PIMA TIERRA
    - PIMA AIRE
    - PIMA SOL
    - PIMA RESIDUOS
    - PIMAs ADAPTA
    - PIMA EMPRESA

En el Apéndice XVI se puede ampliar información sobre el contenido de cada plan concreto.

- Proyectos Clima: con una convocatoria anual, el proyecto clima tiene como objetivo promover la implementación de proyectos en los territorios nacionales, la compra de emisiones reducidas y verificadas para una economía sostenible a través de los fondos de carbono, contribuyendo así a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores difusos (FES-CO_2).
- Un millón de compromisos por el clima: es una campaña informativa para luchar contra el cambio climático, que informa sobre medidas y acciones que afectan a la vida cotidiana y tienen un impacto positivo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Traducido a medidas concretas y a fondos disponibles, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) se encargará de la gestión de

15.339 millones procedentes del Plan de Recuperación. Esta cantidad representa un 21,95% de la inversión total con cargo a los fondos europeos. De esa cuantía, 10.756 millones se destinarán a la transición energética, justa e inclusiva. Los 4.583 millones restantes irán destinados a infraestructuras y ecosistemas resilientes (Presidencia del Gobierno, 2021). En la siguiente tabla (Tabla 2) se pueden observar la asignación de fondos a cada grupo de medidas:

Tabla 2

Actuaciones del MITECO en los componentes del Plan de Recuperación

Actuaciones del MITECO en los componentes del Plan de Recuperación		
COMPONENTE	ACTUACIÓN	INVERSIÓN
1	Plan de choque de movilidad sostenible, segura y conectada en entornos urbanos y metropolitanos	2.000 millones
2	Rehabilitación de vivienda y regeneración urbana	1.000 millones
4	Conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad	1.642 millones
5	Preservación del espacio litoral y recursos hídricos	2.091 millones
7	Despliegue del parque de generación renovable	3.165 millones
8	Infraestructuras eléctricas, promoción de redes inteligentes y despliegue del almacenamiento	1.365 millones
9	Hidrógeno Renovable: Un proyecto de país	1.555 millones
10	Estrategia de Transición Justa	300 millones
11	Modernización de las Administraciones Públicas	1.071 millones
12	Política Industrial España 2030	850 millones

Nota: Presidencia del Gobierno (2021)

Desde el punto de vista de este estudio, se pueden cuantificar los efectos previstos de las componentes 1 y 2.

El componente 1, “plan de choque de movilidad sostenible, segura y conectada en entornos urbanos y metropolitanos”, permitirá cumplir los objetivos de reducción de cuatro de los contaminantes (SO_2, NO_x, NH_3 y PM2,5) de aquí a 2030, con las disminuciones siguiente: 92% de reducción para el dióxido de azufre; 66% de disminución para los óxidos de nitrógeno; decremento del 21% para el amoníaco; y una reducción del 50% para las partículas finas, además de las respectivas reducciones en emisiones de CO_2 y otros gases que contribuyen al calentamiento global (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019a).

El componente 2, “rehabilitación de vivienda y regeneración urbana” tiene como objetivo impulsar la rehabilitación energética y conseguir que los edificios, y sobre todo las viviendas, disminuyan los consumos energéticos (mejora en los aislamientos) y utilicen energías renovables (descarbonización e integración de renovables luchando contra la pobreza energética). El objetivo concreto del Plan es que hasta mediados de 2026 se hayan ejecutado 510.000 actuaciones de renovación en viviendas que alcancen una reducción de entre el 30 y el 45% del consumo de energía primaria no renovable (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019b).

Además, cada medida del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia tiene un impacto sobre el medioambiente, que se detalla en la siguiente tabla (Tabla 3):

Tabla 3

Contribución climática de cada componente del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

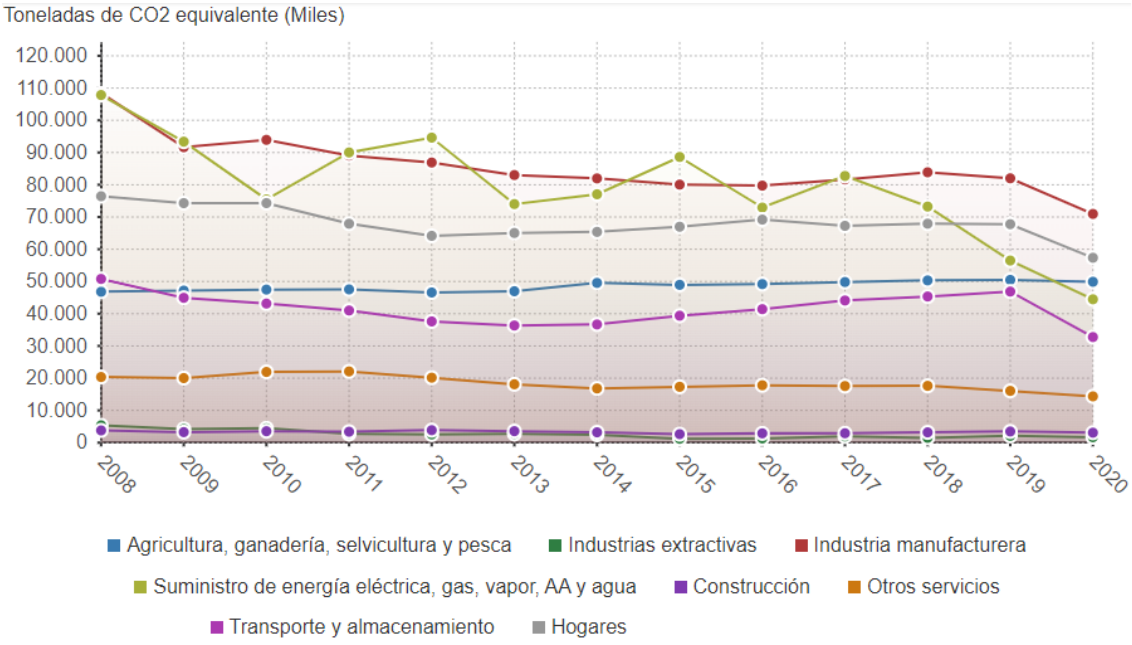
Contribución igual o superior al 40%	
Contribución entre el 40% y 10%	
Contribución inferior al 10%	
Componente 1. Plan de choque de movilidad sostenible, segura y conectada en entornos urbanos y metropolitanos	
Componente 2. Plan de rehabilitación de vivienda y regeneración urbana	
Componente 3. Transformación ambiental y digital del sistema agroalimentario y pesquero	
Componente 4. Conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad	
Componente 5. Preservación del espacio litoral y los recursos hídricos	
Componente 6. Movilidad sostenible, segura y conectada	
Componente 7. Despliegue e integración de energías renovables	
Componente 8. Infraestructuras eléctricas, promoción de redes inteligentes y despliegue de la flexibilidad y el almacenamiento	
Componente 9. Hoja de ruta del hidrógeno renovable y su integración sectorial	
Componente 10. Estrategia de Transición Justa	
Componente 11. Modernización de las Administraciones públicas	
Componente 12. Política Industrial España 2030	
Componente 13. Impulso a la pyme	
Componente 14. Plan de modernización y competitividad del sector turístico	
Componente 15. Conectividad digital, impulso a la ciberseguridad y despliegue del 5G	
Componente 16. Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial	
Componente 17. Reforma institucional y fortalecimiento de las capacidades del sistema nacional de ciencia e innovación	
Componente 18. Renovación y ampliación de las capacidades del Sistema Nacional de Salud	
Componente 19. Plan Nacional de Competencias Digitales (digital skills)	
Componente 20. Plan estratégico de impulso de la Formación Profesional	
Componente 21. Modernización y digitalización del sistema educativo, incluida la educación temprana de 0 a 3 años	
Componente 22. Plan de choque para la economía de los cuidados y refuerzo de las políticas de inclusión	
Componente 23. Nueva políticas públicas para un mercado de trabajo dinámico, resiliente e inclusivo	
Componente 24. Revalorización de la industria cultural	
Componente 25. España hub audiovisual de Europa (Spain AVS Hub)	
Componente 26. Plan de fomento del sector deporte	
Componente 27. Medidas y actuaciones de prevención y lucha contra el fraude fiscal	
Componente 28. Adaptación del sistema impositivo a la realidad del siglo XXI	
Componente 29. Mejora de la eficacia del gasto público	
Componente 30. Sostenibilidad a largo plazo del sistema público de pensiones en el marco del Pacto de Toledo	

Nota: Gobierno de España (2021)

De esta manera, en la siguiente figura (Figura 68) se puede representar la evolución de las emisiones de GEI de la economía española, por actividad económica. Se puede observar que las actividades que más reducen su aportación son la industria manufacturera, los hogares y el suministro energético.

Figura 68

Evolución de las emisiones de GEI en España por actividad



Nota: elaboración propia con datos de MITECO (2020)

3.4. Nuevas propuestas para la reducción de los GEI españoles. Resultados del análisis

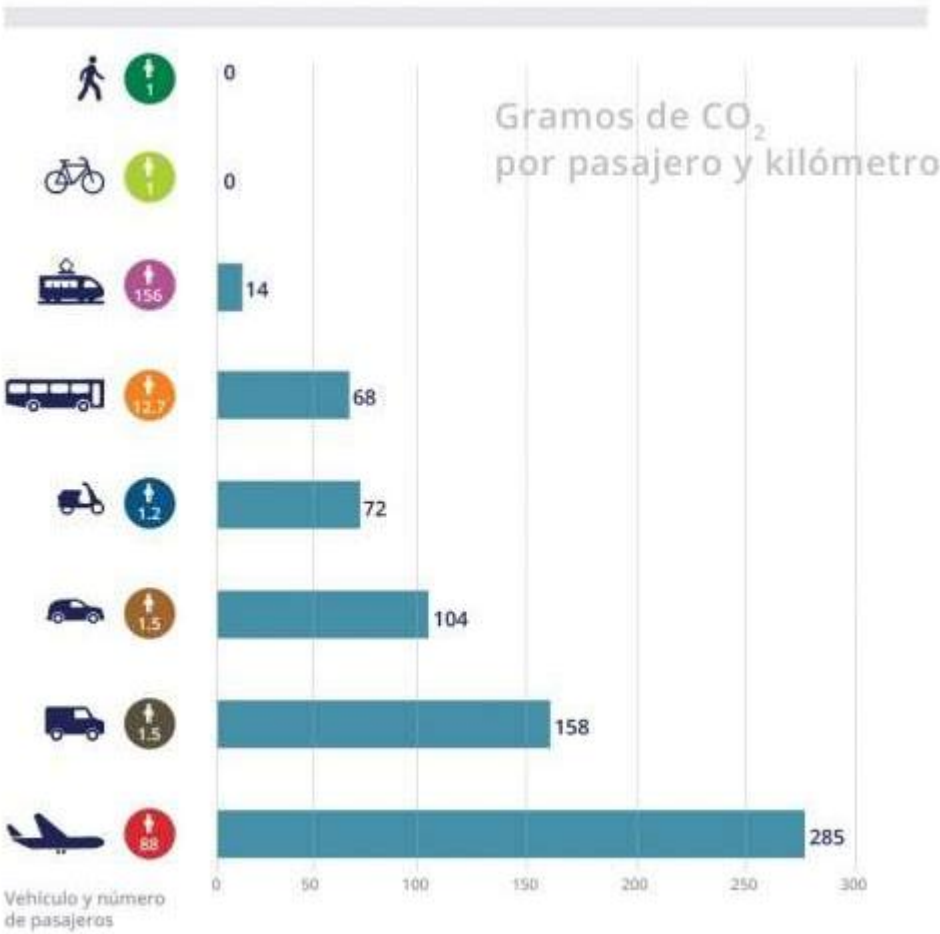
En este apartado se pretende proponer nuevas medidas, en la misma línea que las que está tomando el Gobierno de España. Se han analizado algunas actividades con elevadas tasas de emisiones de GEI y que no están dentro de los paquetes de medidas adoptadas por el Gobierno. Se ha cuantificado su impacto en relación con las emisiones

y se ha planteado una medida adicional para reducir las emisiones. En primer lugar, se analiza en detalle el transporte, haciendo especial mención al transporte marítimo. En segundo, la generación de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción y consumo de electrodomésticos. Y en último lugar se estudian los residuos sólidos urbanos y su valorización.

En las ciudades españolas el 75% del NO_2 procede del tráfico rodado. El transporte por carretera es responsable del 72% de las emisiones de GEI (GREENPEACE, 2022). Las furgonetas representan en la UE el 13% de la contaminación por carbono y el 14% de las emisiones de NO_x en las ciudades. Actualmente el progreso de este tipo de vehículos hacia las cero emisiones es muy lento: cada furgoneta nueva, en 2019, emitía 159g de CO_2 por cada kilómetro; en 2020, 154g. Esto supone la mitad del ritmo propuesto de cero emisiones en 2035 (NEXOTRANS, 2022). La propuesta pasa por incentivar la sustitución de furgonetas de combustión por eléctricas, además de desincentivar la adquisición de furgonetas híbridas enchufables (PHEV), pues la experiencia en el sector de los turismos deja claro empíricamente que emiten hasta ocho veces más que en laboratorio (Büschel et al., 2022).

Figura 69

Gramos de CO_2 por pasajero y kilómetro



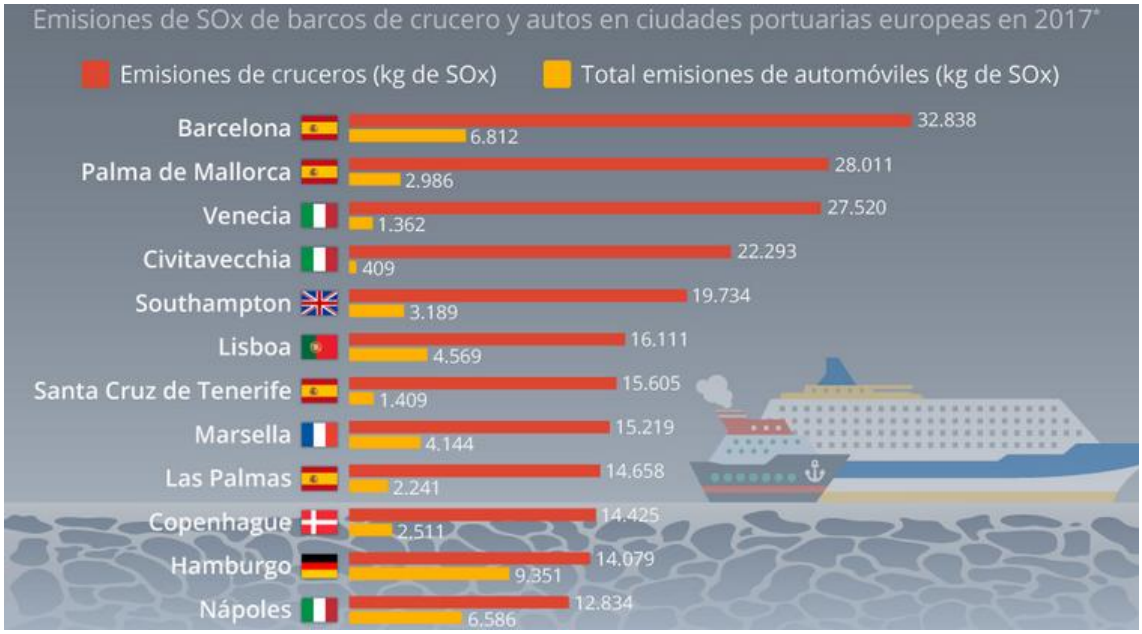
Nota: elaboración propia con datos de AEMA (2022)

Si además de en las emisiones de NO_x se pone el foco en la emisión de SO_x, los barcos de crucero son los más emisores. En un estudio de Transport & Environment (Büschel et al., 2022) se habla de que, durante el pasado 2017, 203 cruceros (no contempla los cargueros o pesqueros) en las costas y aguas territoriales europeas, emitieron en torno a 155.000 toneladas de NO_x. Comparando con todo el parque automovilístico, esto supone un 15% de los niveles de NO_x totales emitidos en Europa en ese año. Pero el gran problema está en los óxidos de azufre (SO_x), cuyos niveles de contaminación son los responsables de la acidificación de la tierra y del agua, así como

de provocar un riesgo para la salud humana. España es el país europeo con la mayor exposición a los efectos nocivos causados por los cruceros. Abundando a nivel de ciudad, Barcelona y Palma encabezan el ranking de ciudades europeas más contaminadas por la presencia de cruceros en sus costas y puertos. La propuesta consiste en legislar limitaciones reales a las emisiones de este tipo de barcos, tanto en puerto como en mar abierto, e incentivar la adquisición de nuevas tecnologías menos contaminantes.

Figura 70

Emisiones de SO_x de barcos de crucero y automóviles, Europa, 2017



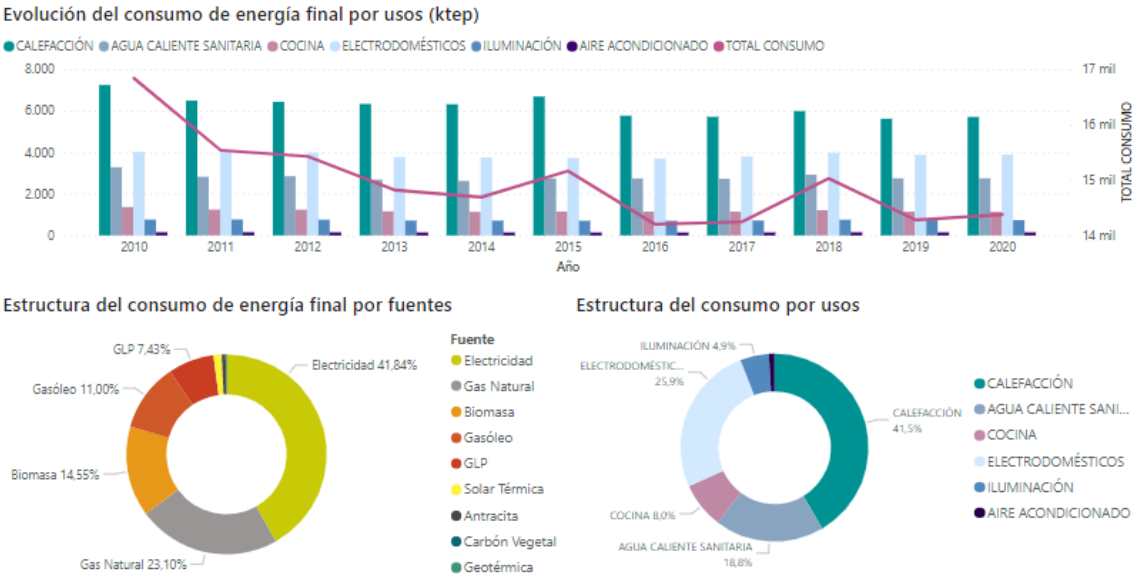
Nota: elaboración propia con datos de AEMA (2022)

Los hogares son responsables del 21% de las emisiones de GEI (MITECO, 2020). En la Figura 69 se puede apreciar que los mayores consumos son en calefacción, electrodomésticos y agua caliente sanitaria. Dado que el 11% de la energía usada es gasóleo y el 41,84% es electricidad, la propuesta consiste en incentivar la sustitución de

las calderas de gasóleo por calderas de biomasa; y promover un plan real de generación eléctrica con procedencia 100% renovable en el medio plazo.

Figura 71

Evolución del consumo de energía por usos (2010-2020)



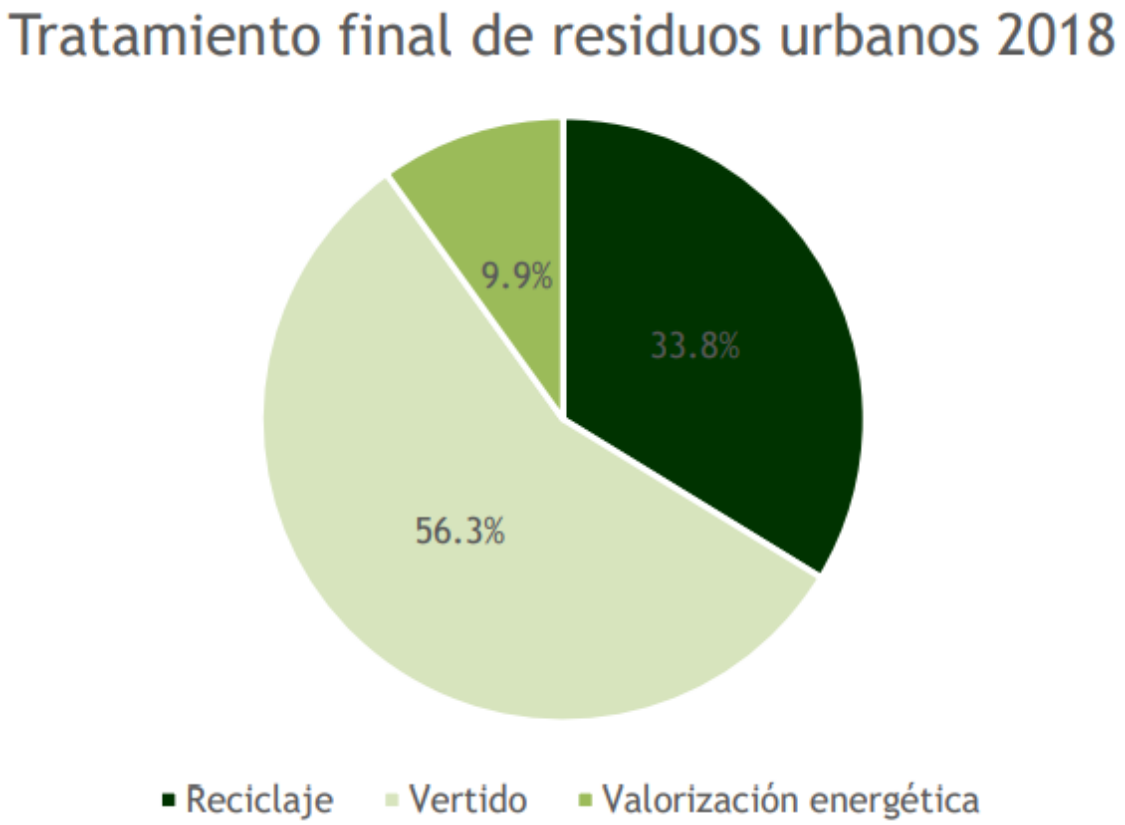
Nota: ktep (kilotonelada equivalente en petróleo). IDAE (2022)

Si se trata el tema de los residuos urbanos (RU), la UE ha adquirido compromisos para los que España tendrá que hacer grandes esfuerzos si quiere cumplirlos. Para 2030 no se admitirán RU valorizables (conversión en energía de aquellos residuos que no pueden ser reciclados, ya sea en forma de electricidad, vapor o agua caliente, como por ejemplo los productos sanitarios) en vertedero, y se deberá reducir al 10% en peso los RU depositados en vertedero para 2035 (Parlamento Europeo & Bourguignon, 2017). En España el principal sistema de gestión de residuos es la eliminación en vertederos. Aquí se envía el 56,3% de los RU, lo que supone 12,7 millones de toneladas. El siguiente método es el reciclado, con un 33,8%, seguido de la valorización energética, con un 9,9% (ver Figura 71). Si se traduce a emisiones de GEI,

el sector residuos representa un 4% de las emisiones de GEI, suponiendo una cantidad significativa (G-ADVISORY - GRUPO GARRIGUES, 2021).

Figura 72

Tratamiento final de residuos urbanos en España, 2018



Nota: elaboración propia con datos de MITECO - Secretaría de Estado de Medioambiente (2020)

Las plantas de valorización energética producen unas emisiones de GEI de 377 kg de CO_2 equivalente por cada tonelada de RU y presentan un balance neto de 224 kg de CO_2 equivalente por cada tonelada de RU. Mientras, los vertederos liberan unas emisiones de GEI de 781 kg de CO_2 equivalente por cada tonelada de RU, lo que supone un 107% más que la valorización energética. El balance neto es de 772 kg de CO_2 equivalente por cada tonelada de RU, que si lo comparamos con los datos de

valorización energética, supone un 245% por encima (G-ADVISORY - GRUPO GARRIGUES, 2021).

Por otro lado, la valorización energética de los residuos también contribuiría a la consecución de los objetivos establecidos en el PNIEC en cuanto a la proporción de energía generada con renovables, pues la energía que se generaría con la valorización no sería necesaria generarla con, por ejemplo, combustibles fósiles (usando biomasa, biofuel y gases renovables).

3.5.Resultados de la aplicación del modelo

En la Tabla 4 se presentan algunos resultados macroeconómicos para los cuatro escenarios, que se obtienen de la aplicación del modelo dinámico integrado economía-clima. Se ve necesario recordar aquí, para la comprensión de la Tabla 2, la ecuación general del PIB:

$$PIB = C + G + I + (X - M)$$

Donde

PIB: Producto Interior Bruto

C: Consumo privado

G: Gasto público

I: Inversión de las empresas

X: Exportaciones

M: Importaciones

Tabla 4

Diferencias porcentuales de indicadores macroeconómicos para impuestos al carbono en varios escenarios de reciclado del impuesto, en relación con el caso base

Año	Reciclado del impuesto	PIB	Consumo	Inversión	Exportaciones	Importaciones
10€/TM						
Año 1	Sin reciclar	-0,06%	-0,32%	-0,21%	-1,61%	-1,28%
	Capital	-0,05%	-0,01%	0,02%	-1,48%	-1,16%
	Trabajo	-0,05%	0,02%	-0,03%	-1,48%	-1,16%
	IVA	-0,05%	-0,01%	-0,02%	-1,43%	-1,16%
Año 30	Sin reciclar	-0,15%	-0,30%	-0,29%	-1,10%	-1,42%
	Capital	0,02%	0,11%	0,04%	-0,90%	-1,27%
	Trabajo	0,01%	0,11%	-0,02%	-0,91%	-1,28%
	IVA	0,00%	0,09%	-0,01%	-0,87%	-1,27%
20€/TM						
Año 1	Sin reciclar	-0,15%	-0,60%	-0,41%	-2,91%	-2,33%
	Capital	-0,13%	-0,04%	-0,01%	-2,68%	-2,11%
	Trabajo	-0,13%	0,00%	-0,09%	-2,68%	-2,11%
	IVA	-0,13%	-0,05%	-0,08%	-2,61%	-2,12%
Año 30	Sin reciclar	-0,30%	-0,55%	-0,54%	-2,02%	-2,57%
	Capital	0,01%	0,18%	0,05%	-1,66%	-2,31%
	Trabajo	-0,02%	0,18%	-0,06%	-1,69%	-2,31%
	IVA	-0,02%	0,14%	-0,05%	-1,62%	-2,30%
30€/TM						
Año 1	Sin reciclar	-0,25%	-0,85%	-0,60%	-4,00%	-3,21%
	Capital	-0,22%	-0,10%	-0,06%	-3,68%	-2,92%
	Trabajo	-0,22%	-0,05%	-0,16%	-3,69%	-2,92%
	IVA	-0,22%	-0,06%	-0,10%	-3,54%	-2,87%
Año 30	Sin reciclar	-0,44%	-0,76%	-0,77%	-2,82%	-3,53%
	Capital	-0,02%	0,23%	0,03%	-2,33%	-3,18%
	Trabajo	-0,06%	0,23%	-0,11%	-2,37%	-3,19%
	IVA	-0,07%	0,23%	-0,04%	-2,23%	-3,12%

Nota: elaboración propia con datos de AIE - IEA (2020) y EXIOBASE (2015)

La Tabla 5 muestra información específica sobre los diferentes sectores energéticos y no energéticos. Se observa cómo los diferentes impuestos reducen significativamente el uso de todos los hidrocarburos, especialmente el carbón, que se reduce un 57% en el año 30 en el escenario de 30 €/tonelada. Con esta tasa impositiva alta, el uso de petróleo y gas también experimenta una gran reducción, de alrededor del 28 % en el año 30. Sin embargo, las variables macroeconómicas no varían mucho entre estos escenarios. Todos los cambios en el PIB, en el consumo y en la inversión están entre −1% y 1%. Se centrará la discusión en el consumo y la inversión, dado el pequeño

papel del comercio (es necesario recordar que los gastos del gobierno se mantienen constantes excepto en el escenario 1).

Tabla 5

Diferencias porcentuales para indicadores de producción de la industria seleccionados, para impuestos al carbono en varios escenarios de reciclado del impuesto, en relación con el caso base

Año	Reciclado del impuesto	Producción carbón	Producción petróleo	Producción gas	Producción otras energías (media)	Producción no energética (media)
10€/TM						
Año 1	Sin reciclar	-28,48%	-7,07%	-7,42%	-1,58%	-0,31%
	Capital	-28,37%	-6,97%	-6,02%	-1,51%	-0,29%
	Trabajo	-28,36%	-6,96%	-7,35%	-1,50%	-0,29%
	IVA	-28,43%	-6,98%	-6,06%	-1,52%	-0,30%
Año 30	Sin reciclar	-30,86%	-11,30%	-12,16%	-1,39%	-0,26%
	Capital	-30,72%	-11,06%	-11,96%	-1,21%	-0,17%
	Trabajo	-30,72%	-11,07%	-11,97%	-1,22%	-0,18%
	IVA	-30,78%	-11,10%	-12,00%	-1,24%	-0,18%
20€/TM						
Año 1	Sin reciclar	-44,58%	-13,29%	-13,88%	-2,91%	-0,58%
	Capital	-44,41%	-13,10%	-13,76%	-2,79%	-0,55%
	Trabajo	-44,40%	-13,09%	-13,76%	-2,78%	-0,54%
	IVA	-44,55%	-13,16%	-13,83%	-2,82%	-0,56%
Año 30	Sin reciclar	-47,58%	-13,29%	-21,73%	-2,57%	-0,50%
	Capital	-47,10%	-20,01%	-21,42%	-2,24%	-0,32%
	Trabajo	-47,10%	-20,04%	-21,45%	-2,26%	-0,34%
	IVA	-47,23%	-20,12%	-21,53%	-2,30%	-0,36%
30€/TM						
Año 1	Sin reciclar	-54,86%	-18,81%	-19,58%	-4,07%	-0,81%
	Capital	-54,67%	-18,55%	-19,41%	-3,90%	-0,77%
	Trabajo	-54,66%	-18,54%	-19,40%	-3,89%	-0,76%
	IVA	-54,86%	-18,66%	-19,53%	-3,94%	-0,79%
Año 30	Sin reciclar	-57,46%	-27,87%	-29,46%	-3,60%	-0,70%
	Capital	-57,25%	-27,41%	-29,09%	-3,16%	-0,47%
	Trabajo	-57,26%	-27,43%	-29,12%	-3,18%	-0,49%
	IVA	-57,42%	-27,56%	-29,26%	-3,23%	-0,52%

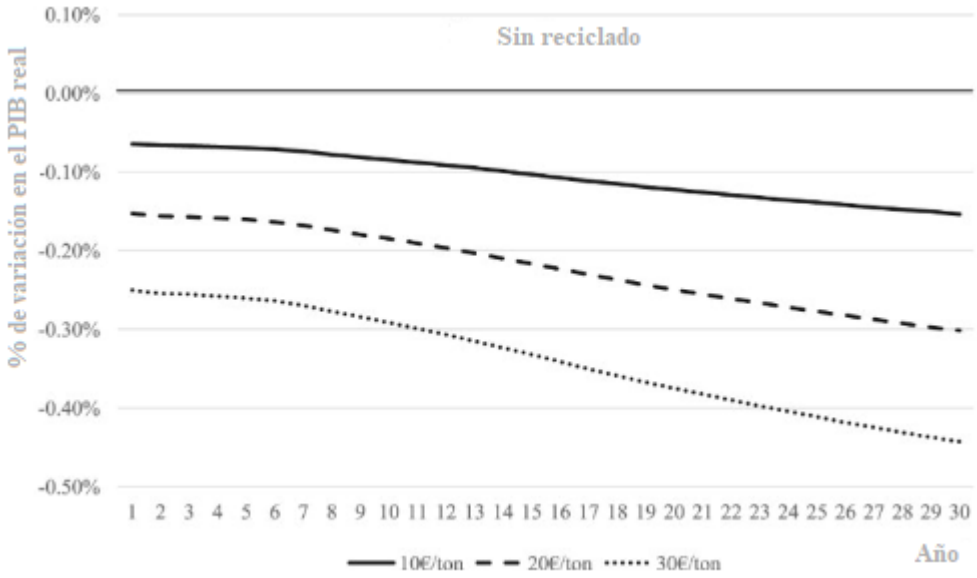
Nota: elaboración propia con datos de AIE – IEA (2020) y EXIOBASE (2015) (Ver Apéndice X para conocer el detalle de la agregación de las 101 industrias en 5 sectores).

Estas tablas revelan que las industrias energéticas son las más afectadas negativamente por la tributación, pero que no son las únicas. La industria más afectada, la extracción de carbón y turba de lignito, reduce su producción desde alrededor del 30% (por un impuesto de 10 €/tonelada) al 56% (por un impuesto de 30 €/tonelada). En el caso del impuesto de 10 €/tonelada, el precio en "boca de mina" del carbón sube alrededor de un 34 %, y el precio del petróleo refinado un 2,7 % y los servicios públicos de gas un 3,8 % (ver Apéndice XI para la aclaración sobre el uso de las elasticidades).

Las siguientes figuras muestran cómo son las diferencias porcentuales entre el PIB real (PIB real se mide a precios constantes; PIB nominal se mide a precios de mercado, ver Apéndice XVII) en cada uno de los escenarios de reciclaje e impuestos al carbono y el PIB en el caso base, durante todo el período de 30 años. En la Figura 73 se puede observar cómo no hay una diferencia acumulada de aproximadamente -0,10% entre los diferentes tipos impositivos al carbono (10, 20 y 30€/TM).

Figura 73

Diferencias porcentuales en el PIB bajo diferentes impuestos al carbono y opciones de reciclaje de impuestos, en relación con el caso base (sin reciclado del impuesto)



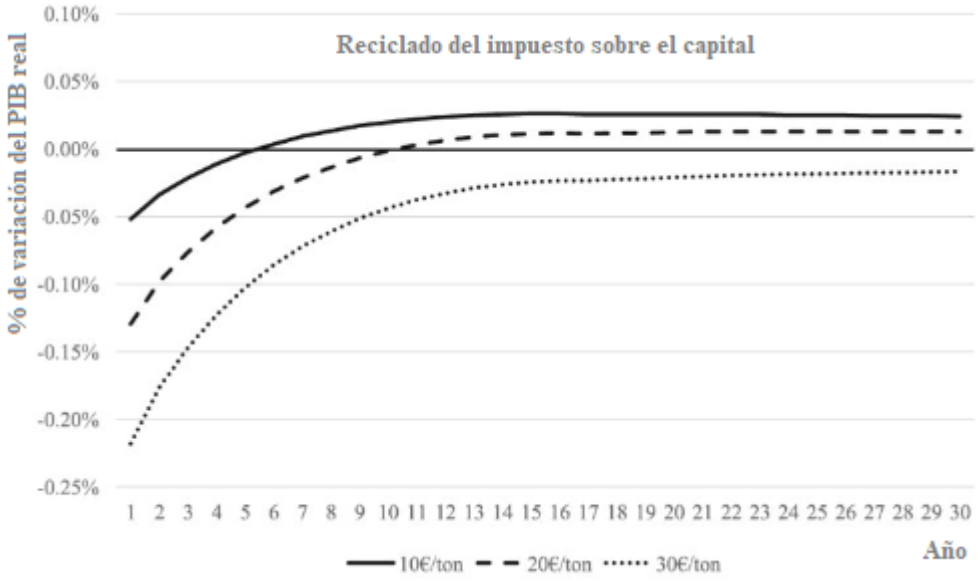
Nota: elaboración propia

En el caso del reciclado de impuesto sobre el capital (Figura 74), se puede apreciar como los tres escenarios son casi convergentes en el año 30 (variaciones entre las curvas de 0,05%, aproximadamente), aunque con curvas de recuperación más lentas a medida que el impuesto al carbono es mayor. Cabe destacar que con los impuestos de

10 y 20€/TM el porcentaje de variación es positivo, y con el impuesto mayor el porcentaje de variación es negativo.

Figura 74

Diferencias porcentuales en el PIB bajo diferentes impuestos al carbono y opciones de reciclaje de impuestos, en relación con el caso base (con reciclado del impuesto sobre el capital)

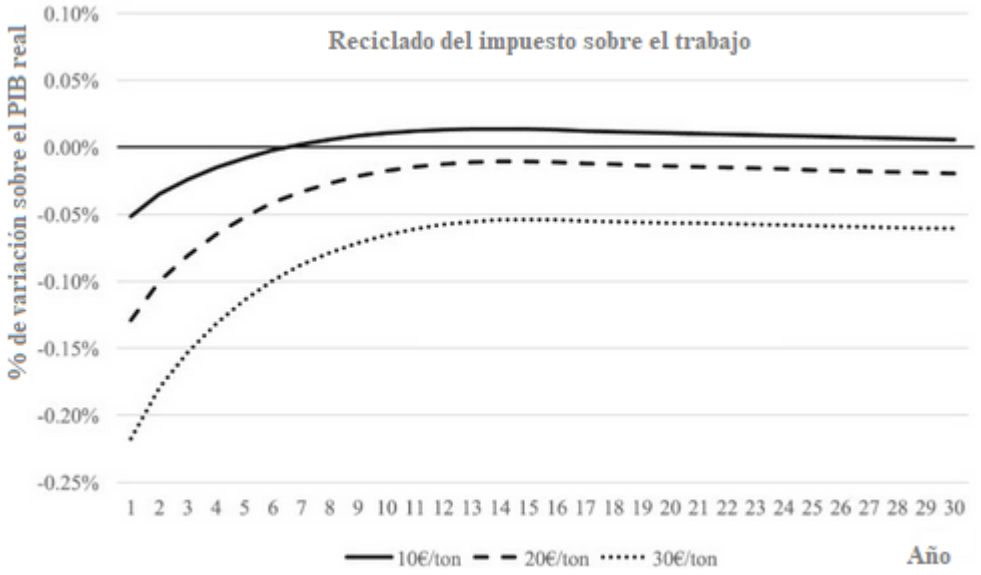


Nota: elaboración propia

Para el reciclado del impuesto sobre el trabajo (Figura 75) se puede interpretar un resultado parecido al anterior, de convergencia en el año 30, y con tasas de recuperación en los años iniciales más lentas a medida que el impuesto sobre el carbono es más elevado. En este caso el porcentaje de variación solo es levemente positivo con el impuesto menor, mientras que con 20 y 30€/TM este porcentaje de variación es negativo.

Figura 75

Diferencias porcentuales en el PIB bajo diferentes impuestos al carbono y opciones de reciclaje de impuestos, en relación con el caso base (con reciclado del impuesto sobre el trabajo)

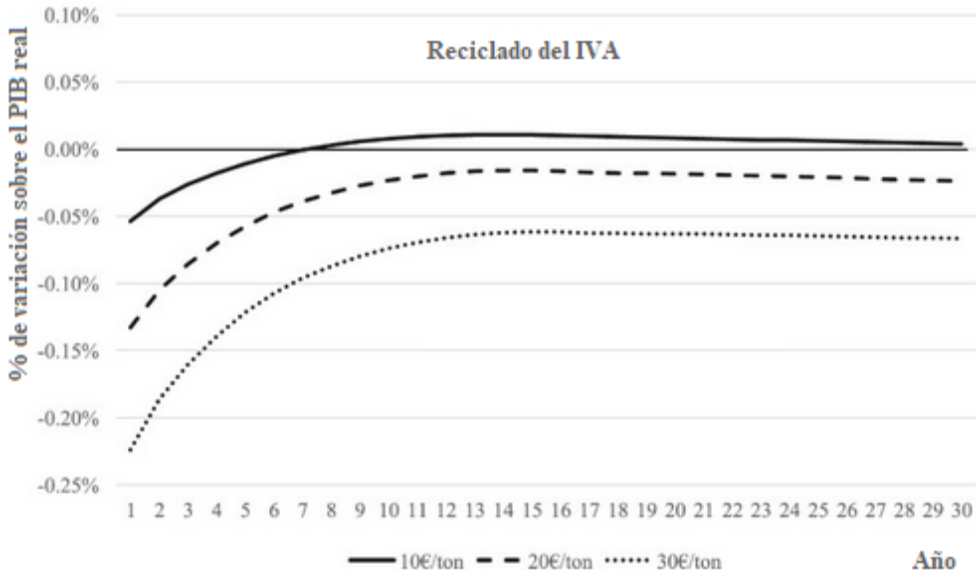


Nota: elaboración propia

Analizando el caso del reciclado del IVA (Figura 76) se puede asimilar la explicación del caso anterior.

Figura 76

Diferencias porcentuales en el PIB bajo diferentes impuestos al carbono y opciones de reciclaje de impuestos, en relación con el caso base (con reciclado del IVA)

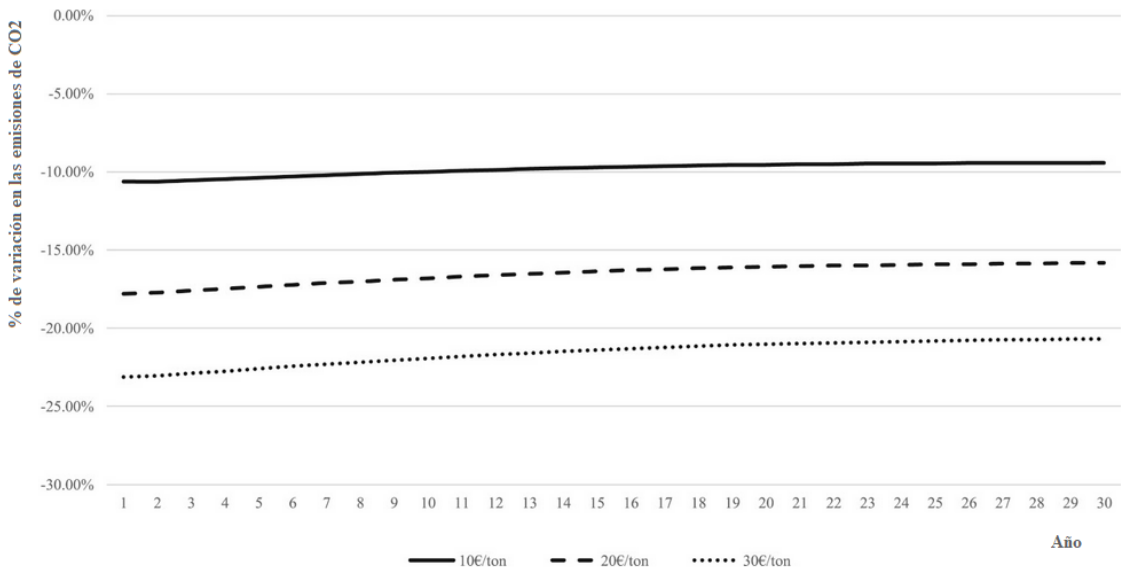


Nota: elaboración propia

Además del estudio del impacto sobre el crecimiento, también se pretende analizar el efecto que estas medidas (aplicación de 10, 20 y 30€/TM, reciclando los ingresos procedentes de los impuestos) tendrían sobre las emisiones de CO_2. En este caso (Figura 77) se puede pronosticar una reducción inicial de entre el 10,1% y el 23,8% atendiendo al impuesto sobre el carbono más barato y más caro. También se puede pronosticar un leve crecimiento de las emisiones a lo largo del tiempo, quizá más acentuado hasta el año 10 en los impuestos de 20 y 30€/TM. Pero aunque hay pequeñas diferencias, la forma en que se reciclan los ingresos fiscales no afecta significativamente esta variable y, por lo tanto, se representan solo los valores medios, calculados sobre las diferentes opciones de reciclado.

Figura 77

Variación porcentual de las emisiones de CO_2 para diferentes tasas impositivas sobre el carbono, promediadas sobre las opciones de reciclado de impuestos



Nota: elaboración propia

Se puede apreciar cómo todos los escenarios de reciclado conducen a reducciones más bajas en el PIB, el consumo y la inversión, e incluso beneficios, en algunos casos, en comparación con los escenarios en los que los ingresos se gastan en compras gubernamentales en lugar de recortes de impuestos. Si bien los tres esquemas de reciclado aumentan los ingresos nominales después de impuestos de los hogares para compensar los precios más altos de los bienes, lo hacen de diferentes maneras. Un recorte en el impuesto al trabajo tiene efectos directos pues todo se destina a aumentar los ingresos de los hogares, lo que luego aumenta el consumo y el ahorro proporcionalmente. Un recorte en el impuesto al capital aumenta tanto las utilidades retenidas como los dividendos. Por lo tanto, el impacto sobre el ahorro y la inversión nacional es mayor que la reducción de impuestos sobre el trabajo. Podría decirse que el recorte del IVA está a medio camino entre los recortes del impuesto al trabajo y al

capital. También aumenta el grupo de utilidades retenidas y dividendos, pero en menor medida en comparación con la reducción del impuesto al capital. Se puede observar estas diferencias en los efectos en el Año 1 (ver Tabla 2): en el caso de 20 €/tonelada, el cambio en la inversión es −0,01% para el recorte del impuesto al capital, −0,09% para el recorte del impuesto al trabajo, y − 0,08% por la rebaja del IVA. El cambio en el consumo es un correspondiente −0,04 %, 0,00 % y −0,05 %. El cambio en el PIB del primer año es similar para todos los escenarios de reciclado dados los supuestos de simplificación del modelo de pleno empleo, movilidad de factores y tasa de ahorro fija (−0,13 % en el caso de 20 €/tonelada). Todos los impuestos al carbono y escenarios de reciclado implican costes en los primeros años de las simulaciones.

Con el tiempo, la reducción de los impuestos sobre el capital tiene el menor impacto negativo sobre el PIB, ya que implica las menores reducciones en la inversión. En el caso del impuesto al carbono de 10 €/tonelada, hay incluso un pequeño aumento de la inversión en el primer año. El impacto sobre el PIB y otros macroagregados a lo largo del tiempo es diferente para los diferentes precios del carbono. En el caso del impuesto al carbono de 10 €/tonelada, se aprecian pequeños aumentos en la inversión dentro de los cinco a siete años posteriores a la implementación, lo que lleva un cambio positivo en el PIB (ver Tabla 2) para el año 30. En el caso de 30 €/tonelada, se observan solo reducciones en la inversión en todos los períodos, independientemente de los supuestos de reciclado. En el caso de 20 €/tonelada, el efecto sobre la inversión es negativo para todos los casos de reciclado, excepto para la reducción del impuesto sobre el capital. Con la opción de reducción del impuesto sobre el capital, se puede apreciar un pequeño aumento en la inversión en el año 9 y, finalmente, un cambio de +0,01 % en el PIB en el año 30. Por lo tanto, hay una demanda futura para los impuestos al carbono

de 10 €/tonelada o menos, siempre que los ingresos se reciclen en impuestos sobre el capital, impuestos sobre el trabajo, IVA o alguna combinación de los tres.

Un impuesto al carbono de 10 €/tonelada reduciría las emisiones totales de CO_2 en torno a un 10 % anual, en comparación con el caso base; un impuesto al carbono de 20€/tonelada las reduciría en torno a un 16% anual, mientras que un impuesto al carbono de 30€/tonelada reduciría las emisiones en torno a un 21% anual. En todos los casos, las reducciones porcentuales disminuyen con el tiempo a medida que se cierra la brecha del PIB.

CAPÍTULO 4. Discusión y Conclusiones

4.1. Discusión de los resultados de la aplicación del modelo

Es interesante comparar estos resultados del impuesto al carbono con las simulaciones de impuestos sobre la producción de energía española y otras industrias en Freire-González y Ho (2018), utilizando un modelo similar. Ese estudio simuló un impuesto sobre un total de 39 industrias de 101 (industrias de energía, suministro de agua, transporte y tratamiento de residuos). Específicamente, probó la implementación de un nuevo impuesto del 20% sobre el valor de la producción y una reducción de los subsidios en un 20% del valor de la producción. Esto resultó en una reducción del 14% de las emisiones de CO_2, promediadas entre las diferentes opciones de reciclado. La política de impuesto a la producción también incrementó las inversiones en escenarios en los que los ingresos se reciclaron con recortes de impuestos. La variación del PIB en el año 30 osciló entre el 0,18 % y el 0,32 % en estos escenarios. En el caso en que no hubo reciclado de ingresos por carbono en el año 30, el cambio del PIB fue de -1,2 %. El nuevo impuesto sobre la producción ascendió a alrededor del 1,46% del PIB en el año 1.

En el modelo usado en este estudio, con un impuesto al carbono de 20 €/tonelada, los nuevos ingresos del gobierno representan alrededor del 0,36 % del PIB en el año 1, y en el año 30 el cambio del PIB oscila entre -0,02 % y 0,01 % para los escenarios de reducción de impuestos. La reducción de emisiones de CO_2 es de alrededor del 16%. Es decir, un impuesto al carbono de 10 a 20 euros por tonelada tiene la misma magnitud de reducción de emisiones que el gran impuesto del 20% sobre la producción de las industrias energéticas, pero tiene efectos menores en el precio del petróleo, del gas y de la electricidad. Es decir, tal impuesto al carbono es probablemente menos costoso en

términos políticos y de implementación que los altos impuestos a la industria y la reducción de subsidios analizados en Freire-González y Ho (Freire-González & Ho, 2018). Un impuesto al carbono brinda los incentivos necesarios para conservar directamente el CO_2 con la sustitución de combustible y otros cambios en el proceso y, por lo tanto, requiere ajustes de producción promedio más pequeños. Es preciso así tener en cuenta que una reducción en los subsidios a la producción es un tema distinto que tiene sus propios beneficios de bienestar además de la reducción de CO_2 y, por lo tanto, no es directamente comparable. Cabe anotar que se ha supuesto una oferta laboral fija y, por lo tanto, la reducción del impuesto al trabajo más los precios de consumo más altos no producen cambios en el esfuerzo laboral simulado en otros modelos (Babiker et al., 2003; Freire-González & Ho, 2018). La reducción proporcional del IVA sobre las mercancías actúa como un aumento de la renta, de nuevo sin efectos sobre la oferta de mano de obra.

El caso del sistema impositivo español es ligeramente distinto a lo propuesto en el modelo, y en vez de gravar directamente las emisiones, crea impuestos por actividades contaminantes. Si se analiza la estructura del sistema impositivo español, se podrán apreciar los siguientes impuestos (AEAT, 2015):

- sobre hidrocarburos;
- sobre la electricidad;
- sobre ventas minoristas de determinados hidrocarburos;
- especial de la C. A. de Canarias sobre combustibles derivados del petróleo;
- especial sobre determinados medios de transporte;
- sobre vehículos de tracción mecánica;
- canon de control de vertidos.

Para adaptar el sistema impositivo, se han creado dos nuevos impuestos que entrarán en vigor el 1 de enero de 2023. Se trata, por un lado, de un impuesto especial sobre los envases de plástico no reutilizables y, por otro, de un impuesto sobre el depósito e incineración de residuos en vertederos. El primer impuesto pretende evitar la generación de residuos gravando el uso de envases fabricados con plástico no reutilizable. El objetivo del segundo es potenciar el desvío de residuos hacia opciones menos dañinas desde el punto de vista medioambiental, como la reutilización o eliminación de estos residuos (por ejemplo, mediante la incineración). La norma también establece el régimen sancionador para los que incumplan lo dispuesto (BOE, 2022).

En esta misma línea y para avanzar en la tributación medioambiental con el doble objetivo de proteger el medioambiente y generar ingresos públicos, el Ministerio de Hacienda ha encargado a un comité de expertos la elaboración del Libro Blanco sobre la Reforma Tributaria, donde se destina todo un capítulo a la fiscalidad medioambiental.

Por un lado, se cuestiona la incidencia de los impuestos actuales sobre la reducción efectiva de las consecuencias negativas para el medio ambiente de las actividades sometidas a imposición, en particular la de la imposición autonómica propia, y se reclama la adopción de medidas para mejorar su diseño y efectividad. En tanto, por otro, se plantea la creación de nuevos gravámenes o la modificación de algunos de los ya existentes con la finalidad de desincentivar consumos o actividades contaminantes, sobre todo las relacionadas con el transporte, entre las cuales (Ruiz-Huerta Carbonell et al., 2022):

- Un nuevo impuesto que grave el consumo de queroseno destinado a la aviación, fijando un tipo mínimo de 10,75 €/Gj (giga julios), que propicie el uso de combustibles alternativos menos contaminantes.

- Un nuevo tributo para gravar los billetes de avión, de tal forma que el impacto en su precio desincentive su uso en pro de otros medios de locomoción más ecológicos.
- Dos nuevos gravámenes sobre el transporte marítimo: uno sobre el uso de gasóleo como combustible, con un tipo de 0,9 €/Gj; y el otro sobre las emisiones de CO_2, de 50 €/Tm, para fomentar el uso de transportes más verdes.
- El aumento del tipo impositivo del gasóleo de uso agrícola hasta los 32,6 €/1000l; la igualación de la tributación del gasóleo y la gasolina de automoción, y el aumento general de la tributación de los hidrocarburos, con el objetivo de la reducción del consumo de combustibles fósiles.
- Nuevas tasas por el uso de determinadas infraestructuras de la red viaria, con especial interés en las de alta capacidad, en forma de peajes sobre los usuarios de las citadas vías.
- Un nuevo gravamen sobre el uso de fertilizantes a base de nitrógeno, para que se reduzca su abuso y la contaminación de suelos y aguas debido a este compuesto.
- Un nuevo impuesto sobre las emisiones industriales y de ganadería intensiva de NO_x, CH_4, CO, NH_3, COVDM (compuestos orgánicos volátiles distintos del metano) y N_2O, pues todos ellos son gases que contribuyen al "efecto invernadero".
- Un nuevo impuesto sobre la extracción de recursos hídricos, que promocione el uso correcto del agua.
- Un nuevo gravamen sobre la extracción de áridos que impulse el reciclaje o uso de productos sustitutivos, dado el impacto ambiental de la extracción y transporte de estos.

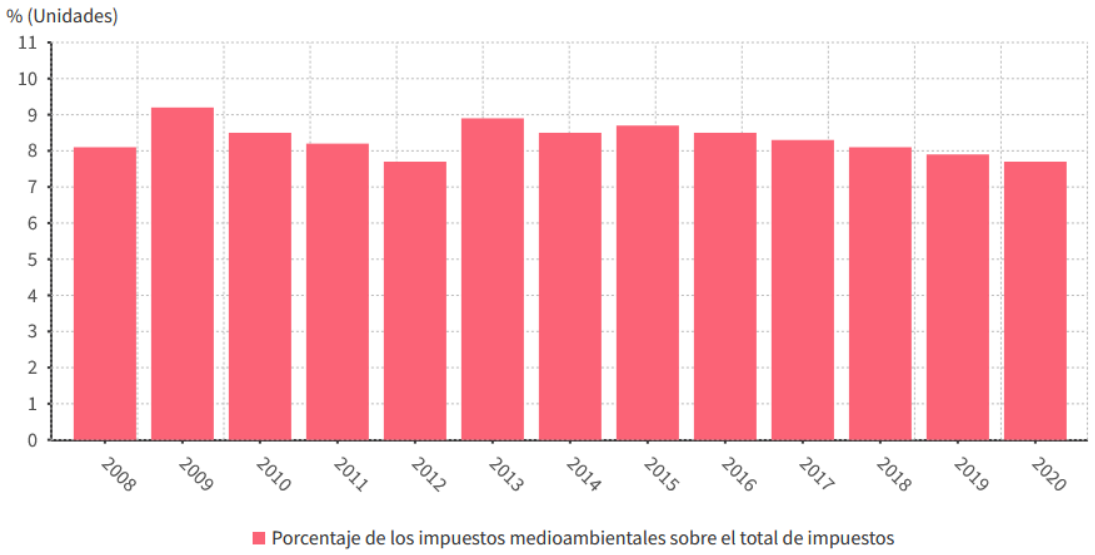
Además, se hacen algunas propuestas sobre la tributación local, en concreto:

- La modificación del Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica (ITVM), de modo que tributen más los vehículos que más contaminen y no en base a su potencia fiscal (como se hace actualmente).
- Un nuevo impuesto a nivel municipal contra la congestión de las ciudades, cuyo tipo dependería del volumen de tráfico, las vías afectadas o la franja horaria.
- La reestructuración de la tasa municipal por la recogida domiciliaria de residuos sólidos urbanos para que se tenga en cuenta de manera real el volumen y clasificación de los desperdicios producidos por cada hogar.

Para cuantificar la importancia relativa sobre el total de impuestos recaudados en España, en la figura 78 se ha hecho una gráfica de evolución de 2008 a 2020, ilustrando el porcentaje que suponen los citados impuestos sobre el total. Se puede observar que los impuestos ambientales representan un 8% del total (7,7% en 2020).

Figura 78

Porcentaje que representan los impuestos ambientales sobre el total de impuestos de la economía española (2008-2020)

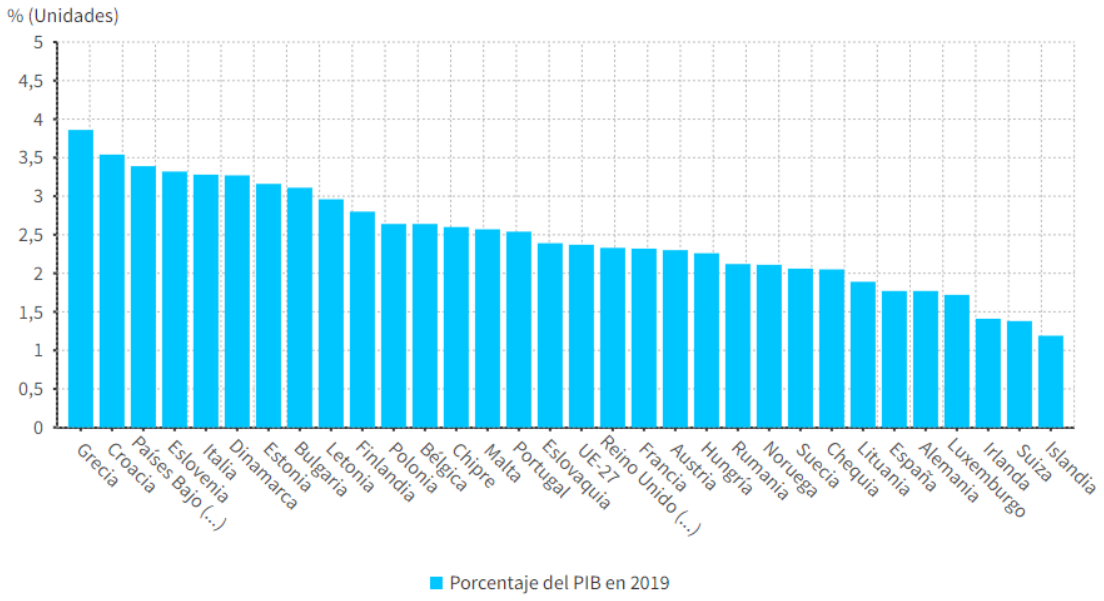


Nota: Elaboración propia con datos de INE (2020b)

Para comprobar la importancia de los impuestos ambientales en España, se ha hecho una comparación sobre el PIB con el resto de países europeos en la Figura 79 para que sean perfectamente comparables. En este caso se analiza la importancia cuantitativa sobre el PIB de los ingresos por impuestos medioambientales de los países de la UE:

Figura 79

Porcentaje que suponen los ingresos por impuestos medioambientales en países europeos (2019)



Nota: elaboración propia con datos de EUROSTAT (2022)

El problema es: ¿quién paga realmente estos impuestos ambientales? En la tabla siguiente (tabla 6) se cuantifica, tanto en valor monetario como en porcentaje, el impacto de los impuestos sobre los distintos colectivos:

Tabla 6

Recaudación a través de impuestos ambientales por ramas de actividad en España (2019)

	Impuestos (millones de €)	**Porcentaje (%)**
Hogares	11.800,90	53,50
Transporte y almacenamiento	3.413,60	15,50
Industria manufacturera	2.167,10	9,80
Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	1.517,40	6,90
Servicios (excepto comercio)	1.152,70	5,20
Comercio al por mayor y al por menor reparación de vehículos de motor y motocicletas	985,40	4,50
Construcción	412,50	1,90
Suministro de agua actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	229,50	1,00
Industrias extractivas	186,30	0,80
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	184,60	0,80

Nota: elaboración propia con datos de INE (2020b)

A la vista de los datos, queda claro que quien soporta la mayor recaudación de los citados impuestos ambientales son los hogares. Es decir, con el sistema actual se está penalizando fuertemente el consumo final de los bienes que más contaminan.

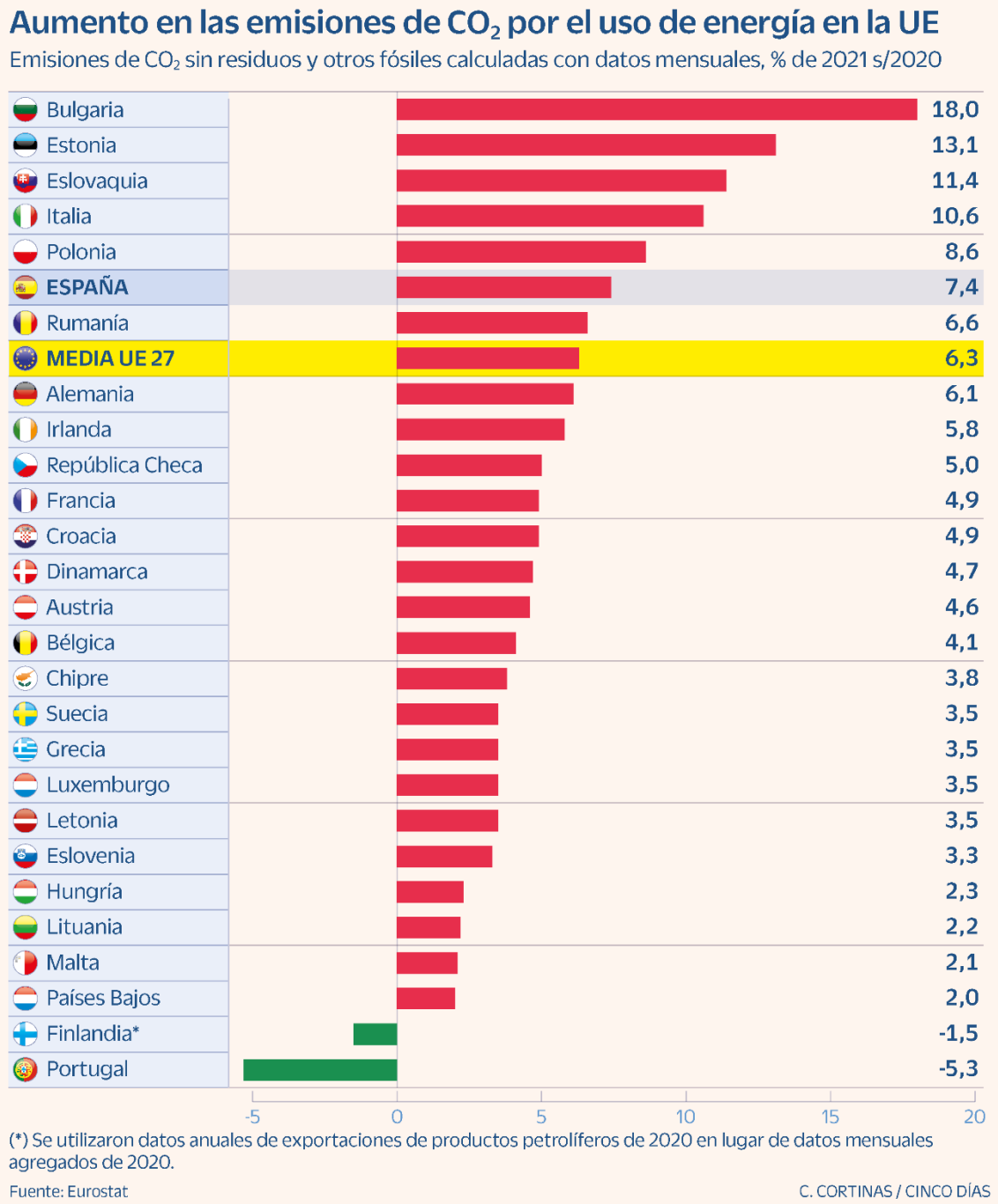
A nivel de adopción de medidas concretas, si se analizan otros estudios disponibles también se llegará a la conclusión de que se ve necesario actuar sobre las emisiones mediante impuestos al carbono. Según datos de un estudio de Aclima Talent (ACLIMA, 2022), también se puede relacionar la emisión de GEI con la actividad económica humana. Registran una fuerte caída de las emisiones en España y la UE con la caída del PIB por los confinamientos provocados por la COVID19 y calculan un aumento de las emisiones españolas del 6,1% en 2021 con respecto a 2019.

En esta misma línea, en un informe de Infolibre (INFOLIBRE, 2022) se concluye que no ha sido posible, hasta la fecha, desacoplar las emisiones del aumento del PIB de los países.

Si se estudia el sector de la generación de la energía (uno de los más contribuyentes), un estudio del diario Cinco Días (López, 2022) concluye que España es, en 2021, el sexto país que más aumenta sus emisiones en este campo (Figura 80):

Figura 80

Aumento de las emisiones de CO_2 por uso de la energía en la UE



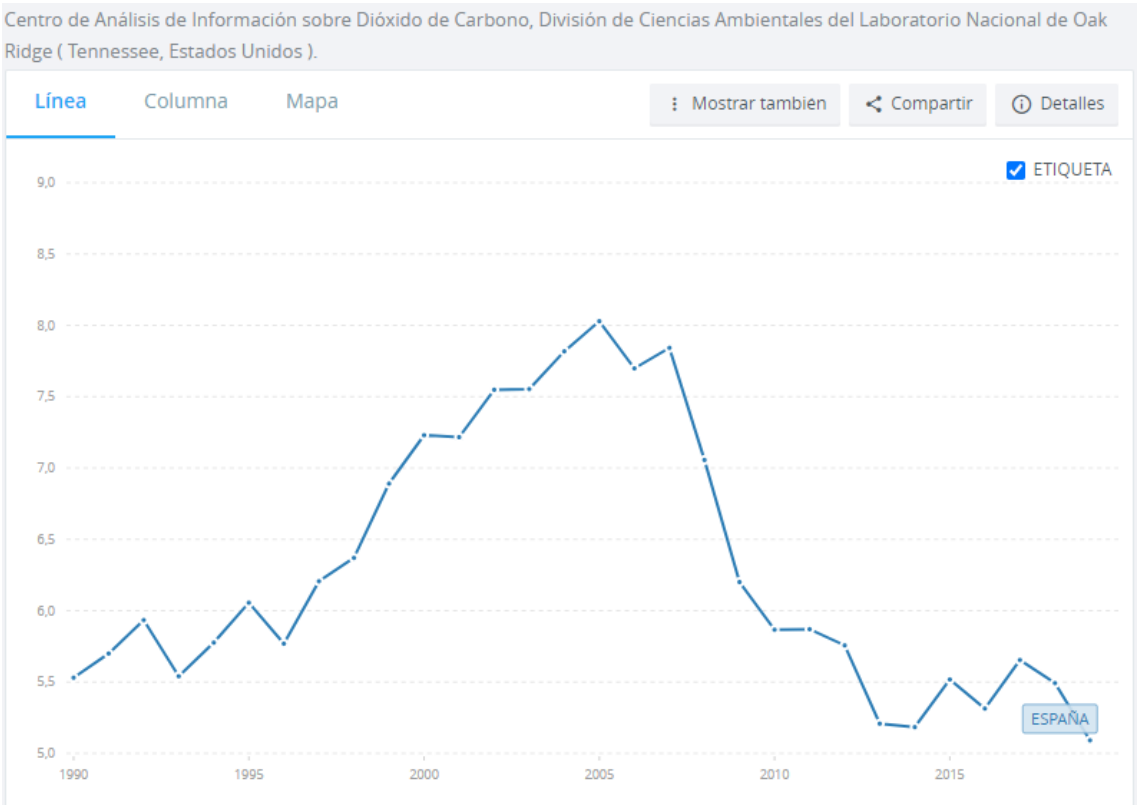
Nota: Cinco Días - López (2022)

En este caso particular, España se sitúa por encima de la media de la UE. De esta manera se ve necesario actuar de alguna forma sobre la generación energética, siendo una propuesta posible la redactada, para este fin, en el capítulo 3.4 de este trabajo.

Por otro lado, también es necesario reconocer que las medidas que están tomando la mayoría de los gobiernos tienen un impacto positivo sobre las emisiones. Analizando el caso español, si se analizan datos del Banco Mundial (Banco Mundial, 2020), se puede apreciar en la Figura 81 una reducción desde 2007 de las emisiones de CO_2 per cápita.

Figura 81

Emisiones de CO_2 en España (toneladas métricas per cápita)



Nota: Banco Mundial (2020)

Aunque en 2007 empezara en España a hacer mella la crisis de liquidez (que terminó en una crisis económica), bien es verdad que el nivel de emisiones anterior al citado año no se ha vuelto a alcanzar.

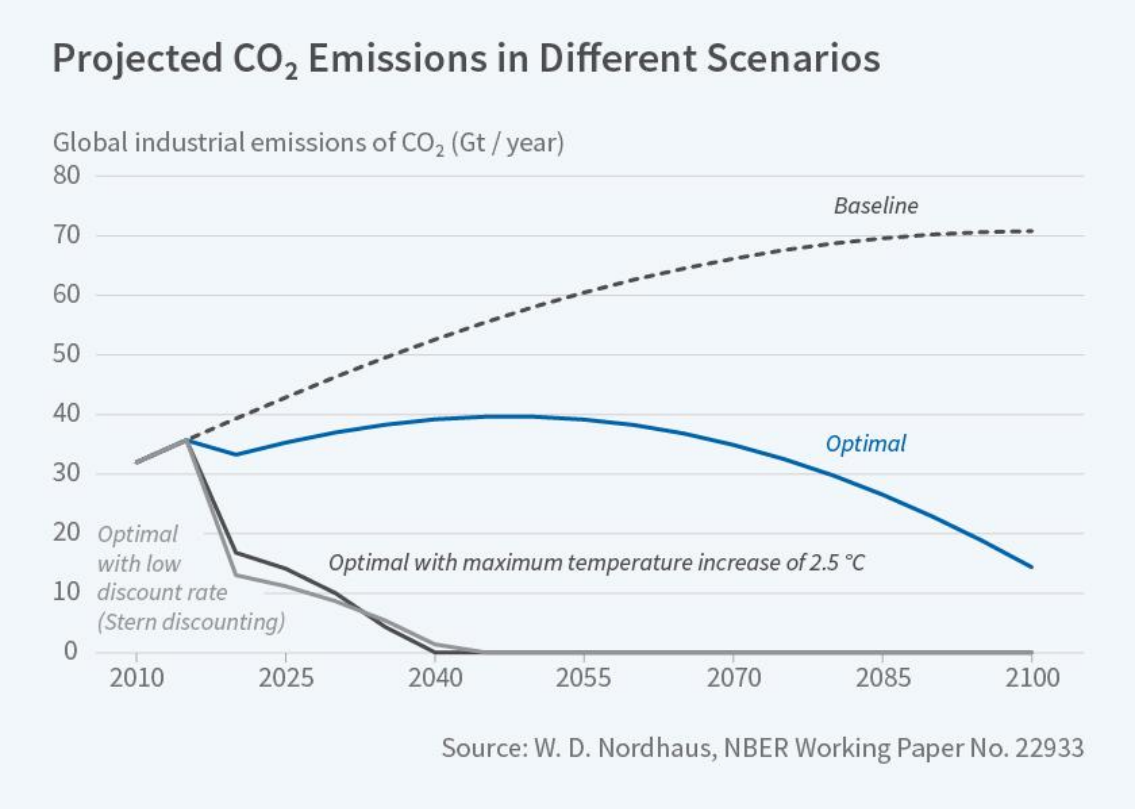
A nivel de aplicación del modelo, si se comparan los resultados de este trabajo con un estudio del propio William Nordhaus para la economía global de 2017 (Nordhaus, 2017), se podrá observar una tendencia muy similar. En este caso el autor aplica cuatro opciones de política diferentes:

- Línea de base (*baseline*, en las figuras): no se adoptan políticas de cambio climático.
- Óptimo (*optimal*, en las figuras): las políticas de cambio climático maximizan el bienestar económico, con la plena participación de todas las naciones a partir de 2020.
- Limitado por temperatura (*optimal with máximum temperatura increase of 2,5º*, en las figuras): las políticas óptimas se llevan a cabo sujetas a una restricción adicional de que la temperatura global no supere los 2,5°C por encima del promedio de 1900. (La meta internacional de 2°C no es factible con las estimaciones actuales de DICE sin tecnologías que permitan emisiones negativas para mediados del siglo XXI).
- Descuento Stern (*optimal with low discount rate*, en las figuras): estos son resultados asociados con una tasa de descuento extremadamente baja, como lo recomienda *The Stern Review on the Economics of Climate Change* (Stern, 2007).

Las figuras 82 a 84 muestran los resultados asociados con las cuatro opciones de política, según Nordhaus (2017). Surgen algunos resultados clave: primero, las emisiones difieren marcadamente, con recortes importantes en las emisiones en los casos con políticas ambiciosas; en segundo lugar, la temperatura en el escenario descontrolado sigue aumentando considerablemente durante el presente siglo.

Figura 82

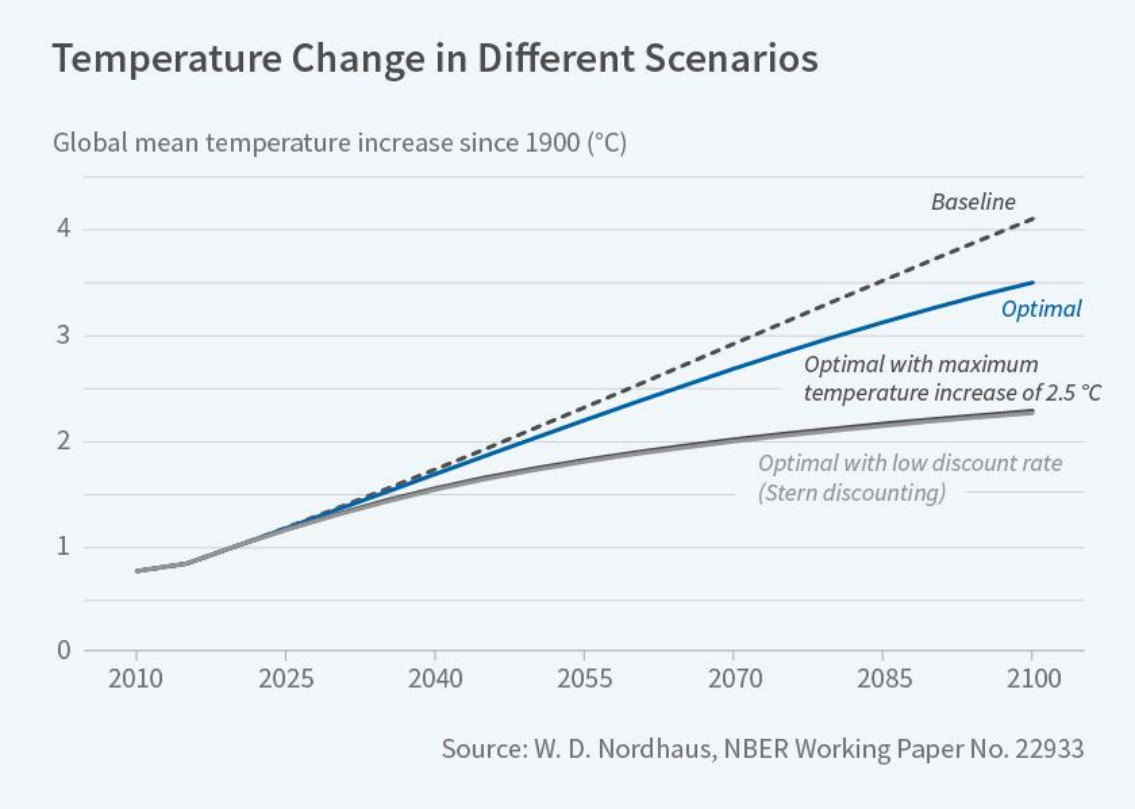
Emisiones de CO_2 previstas en diferentes escenarios



Nota: William Nordhaus - Nordhaus (2017)

Figura 83

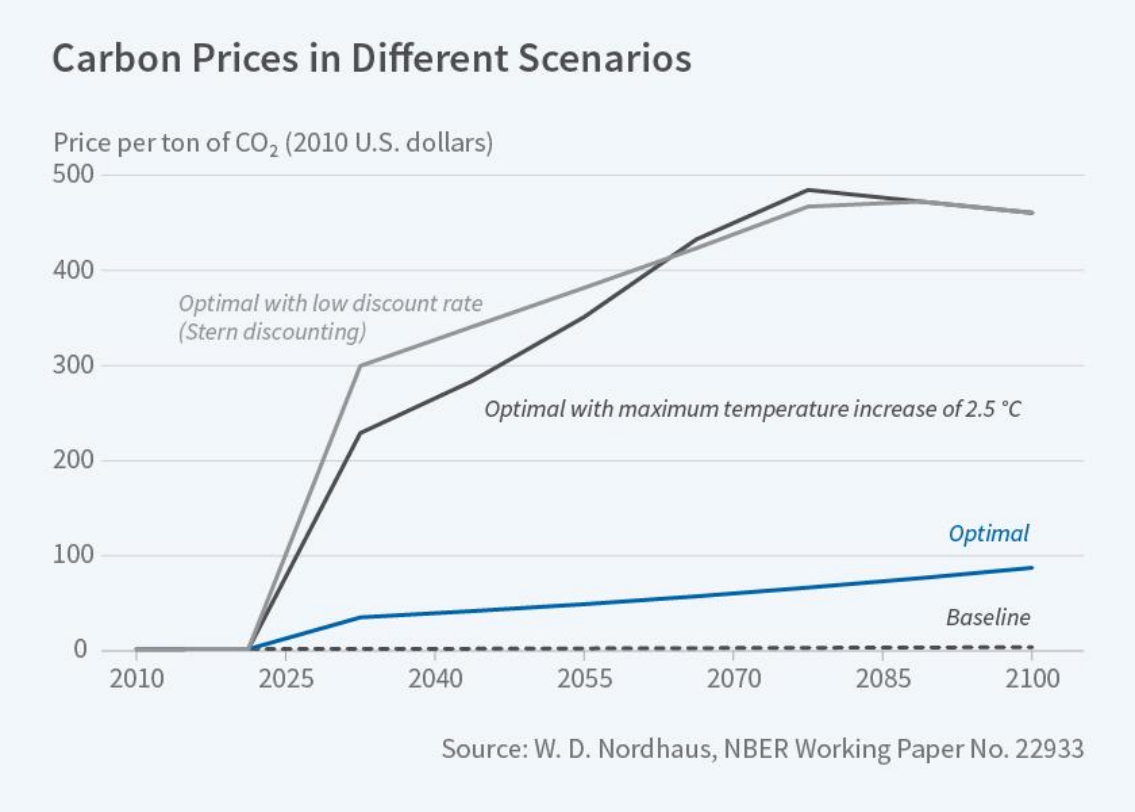
Cambios en la temperatura en diferentes escenarios (incrementos sobre la temperatura media desde 1900, en ºC)



Nota: William Nordhaus - Nordhaus (2017)

Figura 84

Precios de las emisiones de CO_2 en diferentes escenarios (precios por tonelada en dólares americanos de 2010)



Nota: William Nordhaus - Nordhaus (2017)

La Figura 84 es el resultado generado únicamente por los modelos de evaluación integrados (IAM) (Nordhaus, 2017): los precios del carbono asociados con cada política. Este es un concepto que mide los costes marginales de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero. En un entorno de mercado como el de un régimen de "tope y comercio", los precios del carbono serían el precio comercial de los permisos de emisión de carbono. En un régimen de "impuesto al carbono", serían el impuesto al carbono armonizado entre las regiones participantes. Los precios del carbono en el escenario de referencia son los precios promedio actuales en los mercados mundiales, aproximadamente 2$ por tonelada de CO_2. Los precios en los escenarios

óptimo y de temperatura limitada aumentan inicialmente a 35$ y 229$ por tonelada de CO_2, respectivamente, para 2020. Los precios del carbono asociados con el escenario de bajo descuento son similares a los de la política de temperatura limitada.

El precio del carbono está estrechamente relacionado con un importante instrumento de política, el coste social del carbono o *social carbon costs* (SCC). Este concepto representa el costo económico de una tonelada adicional de emisiones de dióxido de carbono (o, más sucintamente, carbono) o su equivalente. La ventaja de los IAM es que pueden calcular el precio sombra de las emisiones de carbono a lo largo de una ruta de referencia de producción, emisiones y cambio climático. En una política climática optimizada, evitando las distorsiones, el coste social del carbono será igual al precio del carbono o al impuesto al carbono.

Las estimaciones del SCC son un ingrediente crítico en la política de cambio climático. Proporcionan a los formuladores de políticas una guía a la que apuntar si están buscando una política económicamente eficiente para la fijación de precios del carbono. Otra aplicación es para la elaboración de normas donde los países no tienen políticas integrales que cubran todos los gases de efecto invernadero. En este contexto, los reguladores podrían usar el SCC en un cálculo de los costes y beneficios sociales de las políticas que involucran decisiones que afectan la energía o el clima. Por ejemplo, el gobierno de los EE. UU. ha emprendido procesos normativos para determinar el SCC para su uso en áreas tales como subsidios para la instalación de fuentes de energía bajas en carbono, regulaciones que requieren estándares de eficiencia energética en edificios y vehículos motorizados, y para centrales eléctricas. Las regulaciones actuales que utilizan el SCC tienen más de 1 billón de dólares en beneficios, según los EE. UU (Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, United States Government, 2021).

Según el estudio de Nordhaus (2017) se observa también que las estimaciones del SCC varían según el modelo y el enfoque. La Tabla 7, muestra las estimaciones del modelo DICE. Hay que tener en cuenta dos puntos aquí: el primero es la importancia crítica del descuento. En 2020, el SCC oscila entre 22$ y 133$ por tonelada de CO_2, ya que la tasa de descuento real oscila entre el 2,5% y el 5% anual; en segundo lugar, el SCC es extremadamente alto (alrededor de 200$ por tonelada de CO_2) para funciones de daño que justificarían el objetivo de temperatura limitada (2°C) que se adoptó en las reuniones internacionales en Copenhague y París (anteriormente citadas COP).

Tabla 7

Costes sociales del carbono (dólares americanos de 2010/tonelada de CO_2)

Social Cost of Carbon (2010 U.S. Dollars / Ton of CO_2)

Scenario	2015	2020	2025	2030	2050
Base parameters					
Baseline	30.0	35.7	42.3	49.5	98.3
Optimal controls	29.5	35.3	41.8	49.2	99.6
2.5 degree maximum					
Maximum	184.1	229.0	284.0	351.0	1,008.4
Max. for 50 years	147.2	183.2	227.2	280.4	615.6
Stern Review discounting					
Uncalibrated	256.5	299.6	340.7	381.7	615.5
Alternative discount rates					
2.5%	111.1	133.4	148.7	162.3	242.6
3%	71.6	85.3	94.4	104.0	161.7
4%	34.0	39.6	44.5	49.8	82.1
5%	18.9	21.7	24.8	28.1	48.4

Source: W. D. Nordhaus, NBER Working Paper No. 22933

Nota: William Nordhaus – Nordhaus (2017)

4.2. Conclusiones de la investigación

Se hace necesario anotar que crecimiento económico y cuidado del medioambiente son dos variables que normalmente están relacionadas inversamente. Los motivos son diversos: para crecer económicamente se necesitan recursos, muchos de los cuales no son renovables. El aumento de la producción conlleva, como se ha podido ver a lo largo de este trabajo, un aumento indiscutible de las emisiones de GEI (producción, energía,

transporte, etc.). Por estos motivos tiene entonces que hablarse de crecimiento económico sostenible. La sostenibilidad significa crecer económicamente, pero pensando en el largo plazo: sin, en pocas palabras, destruir el planeta. ¿Cómo se consigue la sostenibilidad? Mediante inversión en técnicas productivas más eficientes. Dado que eso no siempre es una iniciativa por parte de personas y empresas, es necesario que actúen los gobiernos y autoridades supranacionales.

Por la necesaria intervención de los gobiernos, se ha propuesto la implementación de un impuesto al carbono para reducir las emisiones de CO_2 como una estrategia para mitigar el riesgo de calentamiento global. Existe controversia en la literatura acerca de si un impuesto al carbono es el mejor instrumento, en términos económicos y ambientales, para cumplir con esta tarea. La hipótesis de la demanda sugiere que es posible lograr beneficios ambientales y económicos al mismo tiempo utilizando un impuesto al carbono y reciclando sus ingresos para reducir otros impuestos. Si bien el impuesto ciertamente perjudicará a sectores particulares, el principal debate es sobre el desempeño económico agregado. Esta investigación utiliza un modelo de equilibrio general computable dinámico desarrollado para la economía española para evaluar los efectos de un impuesto al carbono y examinar la hipótesis de la demanda.

Se han evaluado diferentes escenarios con estos objetivos en el horizonte. Se pueden extraer las siguientes conclusiones principales:

- Si se reciclan los ingresos gubernamentales del impuesto al carbono para reducir otros impuestos preexistentes, como el impuesto sobre el capital, el impuesto sobre el trabajo y el IVA, se observa una demanda para un impuesto sobre el carbono de 10 €/tonelada e inferiores, y en algunos casos para un impuesto de 20 €/tonelada.

- Un impuesto al carbono de 10€/tonelada produce una reducción anual de alrededor del 10% de las emisiones de CO_2; por lo tanto, se podría dinamizar la economía y reducir las emisiones de carbono imponiendo dicho impuesto al carbono.

Si bien los impuestos al carbono más altos implicarían algunos costes macroeconómicos, se aprecia que estos se minimizarían al utilizar los ingresos para reducir otros impuestos preexistentes. Los resultados muestran que se podrían lograr objetivos más ambiciosos en la reducción de las emisiones de CO_2, aproximadamente un 20% anual, a un coste agregado bajo (menos del 0,1% de reducción anual del PIB a largo plazo) con un impuesto al carbono de 30€/tonelada; un pequeño coste en comparación con los beneficios para la salud humana y el medio ambiente que no se han estimado en este modelo. En cuanto a los efectos en industrias particulares, se observa cómo para todos los escenarios, aquellos sectores que son intensivos en carbono son los más afectados, mientras que los sectores que son intensivos en mano de obra o capital se benefician de los escenarios de reciclaje. El modelo diseñado captura la sustitución de capital y otros insumos por insumos energéticos intensivos en carbono. Aun así, hay otros canales a través de los cuales un precio del carbono afectaría el uso y las emisiones de energía en el futuro, incluidos los efectos de un mayor gasto en I+D y la aplicación de la experiencia adquirida. Estos efectos dinámicos se aplicarían particularmente a las industrias productoras de energía y a las industrias intensivas en energía.

Algunos aspectos particulares de los resultados dependen de varios supuestos del modelo y de varios parámetros que se han detallado en el estudio. Se asumen elasticidades de sustitución que son más altas que algunos otros modelos y, por lo tanto, los costes a corto plazo podrían estar subestimados en este desarrollo; sin embargo,

parecerían razonables para el análisis a largo plazo. Existen otros aspectos relacionados con la aplicación del impuesto, y otras incertidumbres sobre la evolución de la economía que podrían alterar los resultados. Sin embargo, una conclusión inalterable dentro de este marco, independientemente del nivel del impuesto al carbono, el esquema de reciclaje de los ingresos del impuesto al carbono y la evolución de las variables exógenas, es la reducción de costes cuando los ingresos se utilizan para reducir otros impuestos.

Como se ha explicado en este trabajo, España es de los países en los que la tasa medioambiental tiene menor importancia (1,77% sobre el PIB en 2019). Además, son los hogares sobre los que recae más de la mitad de la recaudación de estos impuestos.

En consecuencia, el verdadero impacto de la mayoría de las propuestas fiscales actuales para la reducción de la actividad y el consumo contaminantes no es tan simple ni obvio. También hay que señalar que no hay otra forma de evitar el pago. Pretender reducir el uso de combustibles fósiles o aumentar el consumo responsable a través de la tributación, cuando las tecnologías alternativas no siempre están socialmente extendidas, ni son más baratas, coloca a los contribuyentes en situaciones en las que no tienen otra opción, al margen de los impuestos ambientales, y se convierten en prisioneros de su propio consumo. El hecho de que el coste (y por lo tanto el precio) de los productos y servicios contaminantes aumente cuando los usuarios no pueden elegir o acceder a otros productos y servicios porque no están disponibles o porque son más caros lleva a pensar que los impuestos ambientales no están realmente diseñados para ayudar a combatir el cambio climático, sino que son solo otra forma de aumentar la carga fiscal.

Otro problema es que muchos de estos impuestos, además de no lograr los objetivos para los que fueron creados, son regresivos. La razón es que refuerzan la idea

de que no paga quien contamina, sino que contamina quien puede permitírselo. De esta forma, la población con menos recursos es expulsada del mercado. Si viajar en avión o en barco es más caro por los impuestos ambientales, o si los coches eléctricos no están al alcance de todos, es evidente que algunos bienes y servicios serán inaccesibles para quienes tienen menos recursos, ampliando así nuestra brecha entre "ricos y pobres" en la sociedad.

En resumen, lo que se desprende como conclusiones de este estudio son las siguientes necesidades:

- Aplicar de manera eficaz y efectiva el principio “quien contamina paga” mediante el diseño de tributos e incentivos fiscales. La fijación de un sistema de precios por contaminar o por no hacerlo debe ser correcta, además de no dejar ningún sector contaminante fuera del citado sistema de precios.
- Tomar medidas que concreten los planes estratégicos de la UE.
- Usar tanto instrumentos regulatorios como de mercado para coordinar la fiscalidad medioambiental. Es preciso establecer la intensidad y urgencia de las medidas impositivas dependiendo de la situación de las emisiones como del mercado, pues se pretende el crecimiento sostenible.
- Traducir la fiscalidad medioambiental en impuestos de finalidad recaudatoria. Es necesario evitar el incremento de la cantidad de impuestos ostensiblemente medioambientales, duplicidades o sobre incentivación de inversiones. Estas medidas podrían traducirse en ineficiencia del gasto público.
- Coordinar los niveles de competencia del gobierno central y de los gobiernos autonómicos.

- Determinar las áreas prioritarias sobre las que tienen que tomarse medidas: generación eléctrica, transporte ecológico, aumento de la circularidad de la economía o una mejor gestión del agua o de los residuos.
- Planificar la introducción de tributos a corto, medio y largo plazo: I+D, de infraestructura e inversiones. También es necesario evaluar el momento más adecuado para la implementación las medidas de reforma fiscal teniendo en cuenta los datos macroeconómicos y la situación de cada sector.
- Aprobar subvenciones selectivas para colectivos desprotegidos y para fomentar la competitividad. Los impuestos medioambientales amplían las bases imponibles y su recaudación podrían servir para financiar otras medidas compensatorias e intervenciones medioambientales.
- Considerar referencias comparadas y cambios normativos. En la reforma fiscal hay que evaluar si la experiencia exitosa de otros países se puede aplicar en España, y se deben considerar propuestas legislativas. El desarrollo de la legislación está en manos de los países miembros.
- Asegurar el cumplimiento del marco jurídico constitucional, europeo e internacional. Es vital que el resultado de las reformas fiscales cumpla con el marco normativo. Sobre todo, y en concreto, que no existan ventajas fiscales selectivas ni discriminaciones que sean contrarias a las libertades fundamentales de circulación, además de evitar los errores del pasado, como los impuestos pretendidamente medioambientales que tienen por objeto exclusivamente la recaudación.

En resumen, el uso de impuestos ambientales puede ayudar a proteger un activo valioso, como el medio ambiente, y debería ayudar a proteger una transición justa. Para ello, un buen punto de partida es tratar de aplicar de manera efectiva el principio de

"quien contamina paga" revisando los datos del sistema tributario e introduciendo nuevos impuestos.

4.3. Limitaciones del estudio

Tratar de explicar mediante modelos los fenómenos naturales, sociales o económicos es una tarea complicada por la cantidad de variables que inciden sobre el hecho o hechos que se estudian, además de la velocidad a la que podrían cambiar. Para poder gestionar un modelo se trata de parcelar la realidad, simplificando el caso de estudio y limitando la variación de las variables. Esto puede provocar que los resultados no sean todo lo realistas que debieran. De esta manera, las limitaciones del presente estudio son:

- Simplificación de la realidad: no es posible estudiar todas las variables que indicen en el caso de estudio. Se simplifican para tener un modelo manejable y viable para su estudio en un ordenador doméstico.
- Supuesto "*ceteris paribus"* o "todo lo demás constante". Cuando se aplican modelos estáticos, cada vez que se hace un cambio en una variable, se considera que las demás no cambian para simplificar cálculos. En el caso del modelo usado en este documento el efecto de este supuesto es mínimo, pues se trata de un modelo dinámico.
- Funciones que expresan y explican el modelo: las funciones que se diseñan para explicar el comportamiento de las variables no siempre coinciden al 100% con el comportamiento real, pues son aproximaciones lo más representativas posible. En la mayoría de las ocasiones es muy complicado que una variable social o económica pueda comportarse de una manera matemática (por ejemplo, por eso se aplican regresiones lineales).

4.4. Futuras líneas de investigación

El tema de la defensa del medioambiente es algo necesario. Los efectos del cambio climático son patentes: variaciones drásticas de temperaturas máximas y mínimas, aumento de los fenómenos naturales destructivos relacionados con el clima, aumento de las migraciones por desastres climáticos, etc. En este trabajo se ha estudiado a nivel general las emisiones de GEI de la economía española, sin entrar a un nivel de detalle pormenorizado de cada uno de los sectores estudiados. Futuras líneas de investigación sobre este mismo tema son:

- Este mismo estudio, pero a nivel europeo, muy conveniente por el *"green deal"* y el *"net zero"*.
- Un estudio pormenorizado de los sectores de la economía española que más aportan a la emisión de GEI.
- Un estudio pormenorizado de los sectores que podrían neutralizar emisiones, como el sector agrícola.

Referencias Bibliográficas

ACLIMA. (2022). *Las emisiones de gases de efecto invernadero en España suben un 5,1 % en 2021.* https://aclimatalent.eus/. https://aclima.eus/las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-espana-suben-un-51-en-2021/

AEAT. (2015). *Impuestos medioambientales* . AEAT. https://www.agenciatributaria.es/static_files/AEAT/Aduanas/Contenidos_Privados/Impuestos_especiales/estudio_relativo_2015/9_MEDIOAMB.pdf

AEMA. (2022). *AEMA.* https://www.eea.europa.eu/. https://www.eea.europa.eu/themes/climate/eu-greenhouse-gas-inventory

AIE. (2021). *AIE.* https://www.iea.org/. https://www.iea.org/countries/spain

ARKI Consulting & Development A/S.*CONOPT.* https://www.conopt.com/. https://www.conopt.com/

Armington, P. S. (1969). A theory of demand for products distinguished by place of production. *Staff Papers, 16*(1), 159-178.

Azqueta Oyarzun, D., Alviar Ramírez, M., Domínguez Villalobos, L., & O'Ryan, R. (2007). *Introducción a la Economía Ambiental* Mc-Graw Hill.

Babiker, M. H., Metcalf, G. E., & Reilly, J. (2003). Tax distortions and global climate policy. *Journal of Environmental Economics and Management, 46*(2), 269-287.

Baeza, M. T., Alfonso, C., Estévez, R., & Prieto, F. (2020). *Calidad del aire en las ciudades en el confinamiento COVID-19*

BANCO MUNDIAL. (2020). *Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) - Spain.* https://datos.bancomundial.org. https://datos.bancomundial.org/indicador/en.atm.co2e.pc?locations=ES

BOE NÚMERO 85, (2022). https://www.boe.es/eli/es/l/2022/04/08/7/con

BP. (2019). *BP statistical review of world energy* (68th ed.)

Büschel, I., Bravo, C. & Rico, C. (2022). *T&E* . https://www.transportenvironment.org/. https://www.transportenvironment.org/te-espana/

C3S. (2020). *Surface Air Temperature* . https://climate.copernicus.eu/. https://climate.copernicus.eu/climate-bulletin-about-data-and-analysis

Carbone, J. C., Morgenstern, R. D., Williams III, R. C., & Burtraw, D. (2013). Deficit reduction and carbon taxes: Budgetary, economic, and distributional impacts. *Resources for the Future,*

Climate Analytics, & Next Climate Institute. (2019). *Climate action tracker - Warming projections - Global update december 2019* . https://climateactiontracker.org/. https://climateactiontracker.org/documents/698/CAT_2019-12-10_BriefingCOP25_WarmingProjectionsGlobalUpdate_Dec2019.pdf

Coase, R. H. (1960). The problem of social cost. *The Journal of Law & Economics, 56*(4), 837-877. http://www.econis.eu/PPNSET?PPN=786446129

Dahlman, L. (2019). *Climate Change: Annual greenhouse gas index.* https://www.climate.gov/. https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-annual-greenhouse-gas-index

ESA. (2020). *Con los europeos confinados, la contaminación aérea se mantiene baja.* https://www.esa.int. https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Con_los_europeos_confinados_la_contaminacion_aerea_se_mantiene_baja

EUGreenDeal. (2020). *Green Deal: el camino para una Europa neutra climáticamente* . https://ec.europa.eu. https://ec.europa.eu/spain/news/20191212_Europe-climate-neutral-2050_es

EUGreenDeal. (2021a). *EU Green Deal Acción por el clima y Pacto Verde Europeo* . https://ec.europa.eu/c. https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_es

EUGreenDeal. (2021b). *EU Green Deal: los beneficios* . https://ec.europa.eu/. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en#thebenefitsoftheeuropeangreendeal

EUGreenDeal. (2021c). *EU Green Deal: Marco 2030* . https://ec.europa.eu/. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es

EUGreenDeal. (2021d). *EU Green Deal: progresos en la reducción de emisiones* . https://ec.europa.eu/. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress_es

EUROSTAT. (2020). *Greenhouse gas emissions by source sector (source: EEA)*. eurostat.ec.europa.eu. https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?query=BOOKMARK_DS-089165_QID_-2ACC4CF3_UID_-3F171EB0&layout=SRC_CRF,L,X,0;TIME,C,Y,0;UNIT,L,Z,0;AIRPOL,L,Z,1;GEO,L,Z,2;INDICATORS,C,Z,3;&zSelection=DS-089165GEO,ES;DS-089165INDICATORS,OBS_FLAG;DS-089165UNIT,THS_T;DS-089165AIRPOL,GHG;&rankName1=UNIT_1_2_-1_2&rankName2=AIRPOL_1_2_-1_2&rankName3=INDICATORS_1_2_-1_2&rankName4=GEO_1_2_0_1&rankName5=SRC-CRF_1_2_0_0&rankName6=TIME_1_0_0_1&sortR=ASC_-1_FIRST&rStp=&cStp=&rDCh=&cDCh=&rDM=true&cDM=true&footnes=false&empty=false&wai=false&time_mode=ROLLING&time_most_recent=false&lang=EN&cfo=%23%23%23%2C%23%23%23.%23%23%23

EUROSTAT. (2022). *Environmental tax revenues*. https://ec.europa.eu/eurostat/. https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/search/-/search/estatsearchportlet_WAR_estatsearchportlet_INSTANCE_bHVzuvn1SZ8J?p_auth=RVykw0EQ&text=Environmental+tax+revenues

EXIOBASE. (2015). *EXIOBASE2 data download*. https://www.exiobase.eu/. https://www.exiobase.eu/index.php/data-download/exiobase2-year-2007-full-data-set

Fankhauser, S., & Soare, R. (2012). *Strategic adaptation to climate change in Europe*. European Investment Bank (EIB).

Freire-González, J., & Ho, M. S. (2018). *Environmental Fiscal Reform and the Double Dividend: Evidence from a Dynamic General Equilibrium Model*10.3390/su10020501

G-ADVISORY - GRUPO GARRIGUES. (2021). *Valorización energética de residuos urbanos en España y Andorra: huella de carbono y comparativa con depósito en vertedero*

GAMS. (2022). *GAMS.* https://www.gams.com/. https://www.gams.com/

GAV, J. M. (2012). *La acidificación de los océanos: causas y efectos.* https://triplenlace.com/. https://triplenlace.com/2012/07/23/la-acidificacion-de-los-oceanos-causas-y-efectos/

Gobierno de España. (2021). *30042021-Plan_Recuperacion_ Transformacion_ Resiliencia*

GREENPEACE. (2022). *Movilidad*

Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science, 162*(3859), 1243-1248. 10.1126/science.162.3859.1243

Ho, M. S., & Jorgenson, D. (2007). Policies to control air pollution damages. *Clearing the Air: The Health and Economic Damages of Air Pollution in China,* , 331-372.

Hoffman, J. P. (2021). *Linear Regression Models*. Taylor & Francis Ltd.

ICAP. (2020). *Comercio de emisiones en el mundo - Resumen ejecutivo*

IDAE. (2022). *Consumo por usos del sector residencial.* https://informesweb.idae.es/. https://informesweb.idae.es/consumo-usos-residencial/informe.php

IEA. (2020). *CO2 Emissions Data & Statistcs* . https://www.iea.org/. https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source

IEA. (2021). *Data&Statistics-IEA* . https://www.iea.org. https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser/?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySource

IMF. (2019). *Finance & Development - The Economics of Climate* . IMF Publication Services.

INE. (2019a). *Cuentas medioambientales. Cuenta de emisiones a la atmósfera. Avance 2018 y año 2017.* https://www.ine.es/. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176941&menu=ultiDatos&idp=1254735976603

INE. (2019b). *España en cifras 2019*. Catálogo de publicaciones oficiales de la Administración General del Estado.

INE. (2019c). *Proyecciones población del instituto nacional de estadística y previsiones demográficas de la autoridad independiente de responsabilidad fiscal*

INE. (2020a, Oct 30,). 30 de Octubre de 2020. *CE NAFTA 2.0 Spanish,* Recuperado dehttps://search.proquest.com/docview/2456228350

INE. (2020b). *INEBase - Cuenta de impuestos ambientales*. https://www.ine.es/. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176942&menu=resultados&idp=1254735976603

INE. (2021). *INE - Tablas de origen y destino*. https://www.ine.es/. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736177059&menu=resultados&idp=1254735576581

INE. (2022). *Cuentas medioambientales. Cuenta de Emisiones a la Atmósfera. Avance 2021 y año 2020*

INFOLIBRE. (2022). *Las emisiones de CO2 aumentaron en España un 5,9% en 2021 y un 14% en lo que va de 2022.* https://www.infolibre.es/. https://www.infolibre.es/medioambiente/emisiones-co2-aumentaron-espana-5-9-2021-14-2022_1_1253193.html

IPCC. (2018a). *IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es*

IPCC. (2018b). *Summary for Policymakers*

Jäger, K. (2016). No title. *EU KLEMS Growth and Productivity Accounts 2016 Release, Statistical Module, the Conference Board,*

Jorgenson, D. W., Goettle, R. J., Ho, M. S., & Wilcoxen, P. J. (2013). *Double dividend: environmental taxes and fiscal reform in the United States*. MIT Press.

Jorgenson, D. W., Goettle, R. J., Ho, M. S., & Wilcoxen, P. J. (2018). The welfare consequences of taxing carbon. *Climate Change Economics, 9*(01), 1840013.

Kemfert, C., & Welsch, H. (2000). Energy-capital-labor substitution and the economic effects of CO2 abatement: Evidence for Germany. *Journal of Policy Modeling, 22*(6), 641-660.

Kneese, A., & Russell, C. (1987). Environmental Economics. (pp. 1-8)10.1057/978-1-349-95121-5_634-1

Le Quéré, C., Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J. P., Abernethy, S., Andrew, R. M., De-Gol, A., Willis, D. R., Shan, Y., Canadell, J. G., Friedlingstein, P., Creutzig, F., & Peters, G. P. (2020). Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change, 10*(7), 647-653. 10.1038/s41558-020-0797-x

Lee, J. J. (2020). *Whatever Sea Level Rise Brings, NASA Will Be There.* https://www.nasa.gov/. https://www.nasa.gov/feature/jpl/whatever-sea-level-rise-brings-nasa-will-be-there

Lindsey, R. (2009). *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide* . https://www.climate.gov/. https://www.climate.gov/print/8431

López, D. (2022). *España, lejos de su objetivo climático al emitir en 2021 más CO2 que la media europea.* https://cincodias.elpais.com/cincodias/. https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/07/01/economia/1656688483_610206.html

Lüthi, D., Floch, M. L., Bereiter, B., Blunier, T., Jean-Marc Barnola, Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., & Stocker, T. F. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature, 453*(7193), 379. 10.1038/nature06949

Marshall, A. (1890). *Principles of economics : an introductory volume / by Alfred Marshall* (8th ed. reprinted. ed.). London : Macmillan.

Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield. (2019). *Global warming of 1.5°C*

McKitrick, R. (1997). Double dividend environmental taxation and Canadian carbon emissions control. *Canadian Public Policy/Analyse De Politiques,* , 417-434.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2014). *Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020*

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2019a). *Componente 1: Plan de choque de movilidad sostenible, segura y conectada en entornos urbanos y metropolitanos.* https://www.mitma.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/transporte/componentes/. https://www.mitma.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/transporte/componentes/c1

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2019b). *Componente 2: Implementación de la Agenda Urbana española: Plan de rehabilitación y*

regeneración urbana. https://www.mitma.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/vivienda-y-agenda-urbana/componentes. https://www.mitma.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/vivienda-y-agenda-urbana/componentes

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *Base de datos OTLE* . https://apps.fomento.gob.es/BDOTLE/iniciobd.aspx?s=0. http://apps.fomento.gob.es/BDOTLE/visorBDpop.aspx?i=314

Ministerio para la Transición Ecológica. (2019). *Avance de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero correspondientes al año 2018*

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2019). *PNCCA.* https://www.miteco.gob.es/. https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-el-i-programa-nacional-de-control-de-la-contaminaci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica/tcm:30-501967

Ministerio para la Transición Ecológica y El Reto Demográfico. (2020). *Actuaciones de reducción de emsiones* . https://www.miteco.gob.es/. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/actuaciones-difusos.aspx

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020a). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima* . https://www.miteco.gob.es/. https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020b). *Web MITECO* . https://www.miteco.gob.es/. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-

climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/que-es-el-comercio-de-derechos-de-emision/

Ministerio para la Transición Ecológica y El Reto Demográfico. (2021). *Sectores Difusos. Situación actual y objetivos.* . https://www.miteco.gob.es/. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/definicion-difusos.aspx

MITECO. (2020). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI).* https://www.miteco.gob.es/. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Inventario-GEI.aspx

MITMA. (2020). *Encuesta permanente de transporte de mercancías por carretera. Año 2019*

Naciones Unidas. (2023). *El Acuerdo de París - Naciones Unidas.* https://www.un.org/es. https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement

Naredo, J. M. (1994). Fundamentos de la economía ecológica. *De La Economía Ambiental a La Economía Ecológica,* , 373-399.

Naredo, J. M. (2002). Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva. *Polis.Revista Latinoamericana,* (2)

NASA. (2022). *Global Warming vs. Climate Change.* https://climate.nasa.gov/. https://climate.nasa.gov/global-warming-vs-climate-change/

NASA, & GISS. (2021). *Global Temperature - Vital Signs - Climate Change.* https://climate.nasa.gov/. https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/

NEXOTRANS. (2022). *Todas las furgonetas de cero emisiones para 2035: ¿es posible?* https://www.nexotrans.com/. https://www.nexotrans.com/noticia/104102/nexotrans/todas-las-furgonetas-de-cero-emisiones-para-2035:-es-posible.html

NOAA. (2022). *State of the Climate.* https://www.ncei.noaa.gov/. https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/

NOAA. (2023). *Climate - National Oceanic and Atmospheric Administration.* https://www.noaa.gov. https://www.noaa.gov/climate

Nordhaus, W. (2013). *El casino del clima* (1st ed.). Ediciones Deusto.

Nordhaus, W. (2017). *Integrated Assessment Models of Climate Change.* https://www.nber.org. https://www.nber.org/reporter/2017number3/integrated-assessment-models-climate-change

Nordhaus, W., & Sztorc, P. (2013). *DICE 2013R: Introduction and User's Manual* (2nd ed.)

NSDIC. (2022). *NSDIC Data Search.* https://nsidc.org/. https://nsidc.org/data/search#keywords=ice+sheets/sortKeys=score,,desc/facetFilters=%257B%257D/pageNumber=1/itemsPerPage=25

Parlamento Europeo, & Bourguignon, D. (2017). *Briefing EU Legislation in Progress Circular economy package Four legislative proposals on waste Proposals for a Directive of the European Parliament and of the Council • amending Directive 2008/98/EC on waste • amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste •*

amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste • amending Directives 2000/53/EC on end-of-life vehicles, 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators, and 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment

Pigou, A. C. (1920). *The economics of welfare / by A.C. Pigou*

Presidencia del Gobierno. (2021). *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia* . https://www.lamoncloa.gob.es/. https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/060521-transicion_ecologica.aspx

Ramsayer, K. (2020). *NASA Space Laser Missions Map 16 Years of Ice Sheet Loss.* https://www.nasa.gov/. https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-space-laser-missions-map-16-years-of-ice-sheet-loss

REE. (2020). *Demanda de energía eléctrica en tiempo real, estructura de generación y emisiones de CO2* . https://demanda.ree.es. https://demanda.ree.es/visiona/seleccionar-sistema

Ruiz-Huerta Carbonell, J., Adame Martínez, F., Agulló Agüero, A., Cantó Sánchez, O., De Pablos Escobar, L., Díaz de Sarralde Miguez, Santiago, Labandeira Villot, X., Lago Peñas, S., López Casanovas, G., López Laborda, J., López Rodríguez, D., Moreno González, S., Ruiz Almendral, V., Soler Roch, M. T., Villar Ezcurra, M., Cuenca García, A., & García-Herrero Blanco, C. (2022). *Libro Blanco sobre la Reforma Tributaria*

S.G. de calidad del aire y medio ambiente industrial. (2019). Proyecciones de emisiones a la atmósfera. Edición 2019. Sumario de resultados [Abstract]. Recuperado dehttps://cdr.eionet.europa.eu/es/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxiopoa/

Sajeewani, D., Siriwardana, M., & Mcneill, J. (2015). Household distributional and revenue recycling effects of the carbon price in Australia. *Climate Change Economics, 6*(03), 1550012.

Samuelson, P. A. (1954). The Pure Theory of Public Expenditure. *The Review of Economics and Statistics, 36*(4), 387-389. 10.2307/1925895

Scott, M., & Lindsey, R. (2018). *¿Quién emite más dióxido de carbono? ¿Los volcanes o la actividad humana?* . https://www.climate.gov/. https://www.climate.gov/print/831408

Secretaría de Estado de Medioambiente. (2018). *ficha_pima_tcm30-70351*

Secretaría de Estado de Medioambiente. (2020). *Memoria anual de generación y gestión de residuos de competencia municipal. 2019*

Serramitjana Casanova, J. (2019). *Oxfam Intermón alerta de que 20 millones de personas son desplazadas internamente cada año a causa de desastres provocados por el clima.* https://www.oxfamintermon.org/. https://www.oxfamintermon.org/es/nota-de-prensa/alertamos-20-millones-personas-desplazadas-internamente-cada-ano-causa-desastres-provocados-clima

Serramitjana Casanovas, J. (2019). *Desplazamientos provocados por el clima. Obligadas a abandonar sus hogares.* https://www.oxfamintermon.org/.

https://www.oxfamintermon.org/es/nota-de-prensa/alertamos-20-millones-personas-desplazadas-internamente-cada-ano-causa-desastres-provocados-clima

Sidgwick, H. (1887). *The Principles of Political Economy*. Cambridge University Press. 10.1017/CBO9781139095358

Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics, 70*(1), 65-94. 10.2307/1884513

Stern, N. (2007). *El informe Stern : la verdad sobre el cambio climático / Nicholas Stern; [traducción de Albino Santos (1ª parte) y Joan Vilaltella (2ª parte)]*. Barcelona : Paidós.

Talledo, E. (s.f.). *Fuentes de emisiones de gases contaminantes.* https://eu.oceana.org/. https://eu.oceana.org/es/eu/que-hacemos/cambio-climatico-y-energias-renovables/cambio-climatico/mas-informacion/fuentes-de-emisiones-de-gases-contaminant

The Global Carbon Project. (2018). *The Global Carbon Atlas - CO2 Emissions* . http://www.globalcarbonatlas.org/. http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions

TRAXCO. (2012). *Biocombustibles 2G* . https://www.traxco.es/. https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/biocombustibles-de-segunda-generacion

Límites nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos, (2001). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l28095&from=ES

UE. (2016). *RCDE UE*

. https://ec.europa.eu/. https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_es

UE Climate Action. (2016). *The EU Emissions Trading System (EU ETS)*

Wellisz, C. (2019). *La Economía del Clima*

. IMF.

Wing, I. S., Daenzer, K., Fisher-Vanden, K., & Calvin, K. (2011). Phoenix model documentation. *Maryland: joint global change research institute, pacific northwest national laboratory* ()

WMO. (2018). *WMO greenhouse gas bulletin*

WMO. (2022). *Global Climate Observing System.* https://public.wmo.int/. https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system

Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, United States Government. (2021). *Technical Support Document: Social Cost of Carbon, Methane, and Nitrous Oxide.* ().

Apéndices

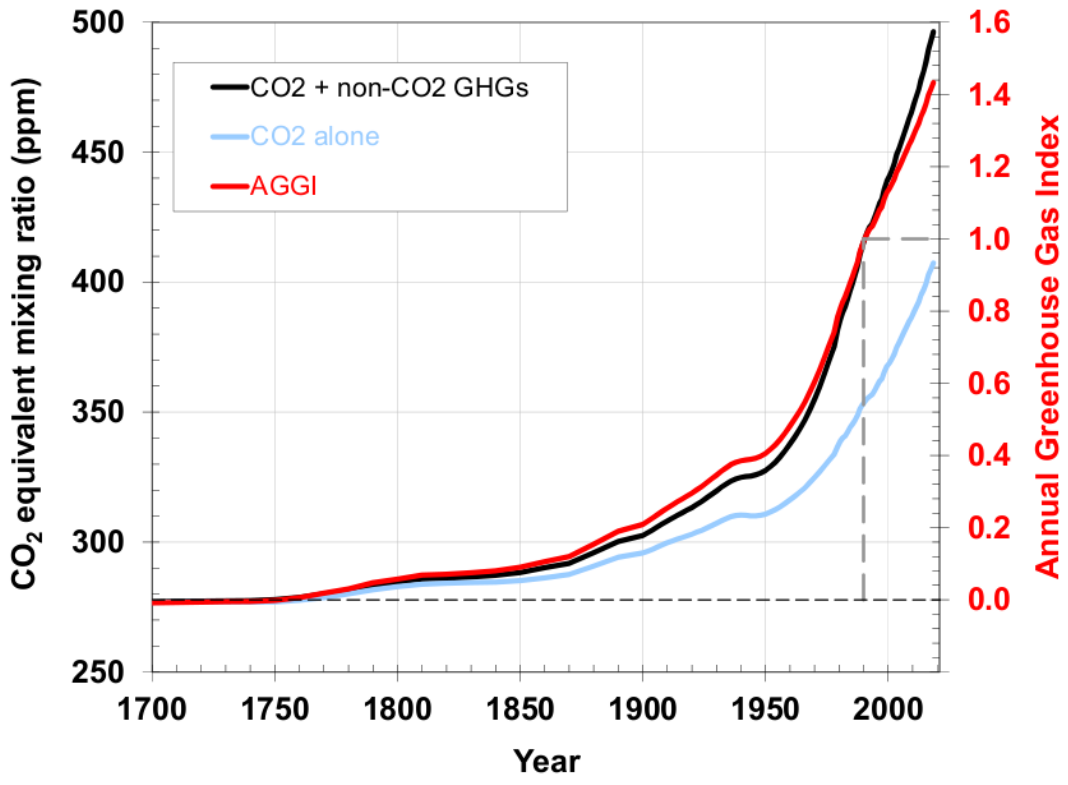
Apéndice I: El índice AGGI

El *Anual Greenhouse Gas Index* (AGGI) es una medida de la influencia del calentamiento climático de los gases de larga duración. También mide cómo esa influencia ha cambiado desde el inicio de la revolución industrial. El índice fue diseñado para mejorar la conexión entre los científicos y la sociedad al proporcionar un estándar normalizado que se puede entender y seguir fácilmente. El AGGI proporciona una forma de presentar esta influencia de calentamiento como un índice simple.

En la gráfica siguiente se puede comprobar la evolución del AGGI y de los gases que lo componen, de manera desagregada:

Figura 85

Evolución del índice AGGI (1700-2019)



Nota: NOAA (2022)

Apéndice II: Emisiones por sectores de la economía española (2018)

Tabla 8

Tabla de emisiones por sectores de la economía española (2018)

Sector	Toneladas de CO_2 (equivalente)
Industria manufacturera	81.333,10
Hogares	71.404,60
Suministro de energía eléctrica, gas, vapor, aire acondicionado y agua	71.159,80
Transporte y almacenamiento	51.480,50
Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca	48.464,00
Otros servicios	14.511,10
Industrias extractivas	1.733,40
Construcción	633,30

Nota: elaboración propia con datos de INE (2019a)

Apéndice III: Pesos de los sectores económicos con respecto al PIB español (2018)

Tabla 9

Tabla de pesos de los sectores económicos con respecto al PIB (España, 2018)

Sector	Peso con respecto al PIB (%)
Agricultura	2,8%
Industria	19,99%
Servicios	67,71%

Nota: elaboración propia con datos INE (2019a)

Apéndice IV: Emisiones totales de co₂ y emisiones de co₂ debidas al petróleo en España (1980-2017)

Tabla 10

Emisiones totales del CO_2 y explicadas por el petróleo en España (1980-2017)

1	Total CO_2 Kt	Petróleo CO_2 Kt	%
2017	282.179	216.175	76,61
2016	263.527	213.288	80,94
2015	274.815	209.202	76,12
2014	260.311	199.221	76,53
2013	261.377	199.911	76,48
2012	288.558	202.618	70,22
2011	293.693	220.026	74,92
2010	291.621	236.910	81,24
2009	305.148	241.352	79,09
2008	344.951	259.785	75,31
2007	376.488	275.168	73,09
2006	363.372	231.000	63,57
2005	372.653	232.000	62,26
2004	357.503	229.000	64,06
2003	340.892	221.000	64,83
2002	333.659	211.000	63,24
2001	315.429	209.000	66,26
2000	315.476	200.000	63,40
1999	299.436	202.337	67,57
1998	276.970	189.193	68,31

1997	267.923	174.476	65,12
1996	248.643	170.067	68,40
1995	258.696	167.698	64,82
1994	246.018	157.137	63,87
1993	235.471	147.381	62,59
1992	249.958	150.733	60,30
1991	241.443	145.286	60,17
1990	233.798	137.301	58,73
1989	225.390	132.854	58,94
1988	206.735	131.640	63,68
1987	202.575	116.244	57,38
1986	201.607	114.602	56,84
1985	197.934	114.609	57,90
1984	204.797	118.731	57,97
1983	215.852	127.759	59,19
1982	212.409	127.958	60,24
1981	219.319	140.508	64,07
1980	213.886	150.950	70,57

Nota: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Ministerio para la Transición Ecológica (2019)

Apéndice V: Consumo energético en el transporte por modo, tipo de combustible y tipo de tráfico (nacional e internacional)

Tabla 11

Consumo energético en el transporte por modo, tipo de combustible y tipo de tráfico (2008-2017)

Tipo de tráfico	Modo	Combustible	Año									
			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Nacional	Carretera	Gasolina	265.341	249.009	229.413	213.423	212.385	189.492	186.634	187.857	196.312	200.726
		Gasóleo	996.663	929.986	904.961	861.328	785.907	827.817	842.393	877.239	895.754	908.881
		GLP (gas licuado del petróleo)	585	720	856	946	1.171	1.396	1.576	1.936	2.116	2.297
		Biomasa	27.321	47.321	63.296	75.953	93.918	40.034	42.836	43.603	49.675	56.945
		Gaseosos	1.717	2.028	2.572	2.773	2.965	3.218	3.461	3.673	4.549	5.336
		Electricidad	0	0	0	27	26	26	25	27	19	12
		Subtotal carretera	**1.291.627**	**1.229.064**	**1.201.097**	**1.154.451**	**1.096.373**	**1.061.983**	**1.076.925**	**1.114.335**	**1.148.424**	**1.174.196**
	Ferrocarril	Gasóleo	3.946	3.687	3.638	3.744	3.486	3.283	3.340	3.295	3.152	3.289
		Gas natural	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Electricidad	8.883	8.749	8.770	9.211	9.034	9.110	9.464	9.500	9.204	9.410
		Gas natural (Metro)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Electricidad (Metro)	2.822	3.358	3.893	4.055	3.745	3.310	3.229	3.471	3.477	3.534
		Subtotal ferrocarril	**15.651**	**15.794**	**16.301**	**17.010**	**16.264**	**15.703**	**16.033**	**16.267**	**15.832**	**16.233**

	Aéreo	Gasolina	272	262	226	205	187	171	109	130	123	140
		Queroseno	54.301	47.617	47.447	46.158	38.360	32.680	32.528	33.868	36.567	38.330
		Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Subtotal aviación doméstica	**54.574**	**47.879**	**47.673**	**46.363**	**38.546**	**32.851**	**32.637**	**33.999**	**36.690**	**38.470**
	Marítimo	Gasóleo	46.613	38.300	38.637	28.149	31.303	15.997	9.964	13.397	15.845	19.425
		Fuelóleo	8.424	7.452	5.265	5.954	4.374	5.184	3.524	4.496	9.437	20.615
		Gas natural	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Subtotal navegación de cabotaje	**55.037**	**45.752**	**43.902**	**34.102**	**35.677**	**21.181**	**13.487**	**17.893**	**25.281**	**40.039**
	Subtotal nacional		**1.416.889**	**1.338.489**	**1.308.973**	**1.251.926**	**1.186.861**	**1.131.718**	**1.139.082**	**1.182.494**	**1.226.228**	**1.268.939**
Internacional	Aéreo	Queroseno	174.476	160.249	168.692	184.001	178.184	179.577	186.708	193.378	215.411	232.104
		Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Subtotal aviación internacional	**174.476**	**160.249**	**168.692**	**184.001**	**178.184**	**179.577**	**186.708**	**193.378**	**215.411**	**232.104**
	Marítimo	Gasóleo	61.050	59.658	62.627	55.205	49.457	52.150	53.822	69.717	66.446	54.000
		Fuelóleo	306.099	305.330	289.292	303.993	301.766	250.412	273.051	242.555	248.508	225.626
		Gas natural	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Subtotal navegación internacional	**367.149**	**364.987**	**351.918**	**359.198**	**351.223**	**302.561**	**326.873**	**312.272**	**314.954**	**279.626**

	Subtotal internacional		**541.625**	**525.236**	**520.610**	**543.200**	**529.407**	**482.139**	**513.581**	**505.650**	**530.365**	**511.729**
Total			**1.958.515**	**1.863.725**	**1.829.583**	**1.795.125**	**1.716.267**	**1.613.856**	**1.652.662**	**1.688.144**	**1.756.593**	**1.780.668**

Gasolina	**265.613**	**249.272**	**229.639**	**213.629**	**212.572**	**189.663**	**186.743**	**187.988**	**196.434**	**200.867**
Gasóleo	**1.108.272**	**1.031.631**	**1.009.863**	**948.426**	**870.153**	**899.247**	**909.519**	**963.649**	**981.196**	**985.595**
Fuelóleo	**314.523**	**312.782**	**294.557**	**309.947**	**306.140**	**255.596**	**276.575**	**247.050**	**257.945**	**246.240**
GLP	**585**	**720**	**856**	**946**	**1.171**	**1.396**	**1.576**	**1.936**	**2.116**	**2.297**
Queroseno	**228.778**	**207.865**	**216.139**	**230.159**	**216.543**	**212.257**	**219.236**	**227.246**	**251.979**	**270.434**
Gas natural	**1.717**	**2.028**	**2.572**	**2.773**	**2.965**	**3.218**	**3.461**	**3.673**	**4.549**	**5.336**
Biomasa	**27.321**	**47.321**	**63.296**	**75.953**	**93.918**	**40.034**	**42.836**	**43.603**	**49.675**	**56.945**
Electricidad	**11.705**	**12.107**	**12.662**	**13.293**	**12.805**	**12.446**	**12.718**	**12.999**	**12.700**	**12.955**

Nota: Observatorio del Transporte y la Logística en España –Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2020)

Apéndice VI: Componentes del PIB español, años 2019 y 2020

Tabla 12

Producto interior bruto. Demanda. Volumen encadenado. Tasas de variación interanual

Producto interior bruto. Demanda
Volumen encadenado. Tasas de variación interanual (%)

	2019				2020		
	Tr. I	Tr. II	Tr. III	Tr. IV	Tr. I	Tr. II	Tr. III
Producto interior bruto a precios de mercado	**2,2**	**2,1**	**1,8**	**1,7**	**-4,2**	**-21,5**	**-8,7**
Gasto en consumo final	1,3	0,9	1,4	1,4	-3,7	-17,8	-6,8
Gasto en consumo final de los hogares	1,0	0,3	1,1	1,0	-6,2	-25,2	-10,4
Gasto en consumo final de las ISFLSH	1,6	3,8	5,9	4,2	1,7	0,5	-1,4
Gasto en consumo final de las AAPP	2,2	2,4	2,2	2,6	3,7	3,1	3,7
Formación bruta de capital	5,4	1,2	1,9	-0,3	-5,3	-25,4	-12,8
Formación bruta de capital fijo	5,7	1,3	2,8	0,9	-5,1	-25,8	-11,9
Activos fijos materiales	7,0	1,2	2,6	0,1	-6,9	-29,7	-13,4
Viviendas y otros edificios y construcciones	5,3	2,7	0,9	-2,2	-7,0	-27,7	-15,2
Maquinaria, bienes de equipo, sistemas de armamento y recursos biológicos cultivados	9,6	-0,9	5,2	3,6	-6,8	-32,7	-10,6
Maquinaria, bienes de equipo y sistemas de armamento	10,1	-0,9	5,4	3,6	-7,3	-34,2	-11,4
Productos de la propiedad intelectual	-0,2	2,1	3,7	5,0	4,5	-5,8	-4,6
Variación de existencias y adquisiciones menos cesiones de objetos valiosos[1]	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,3
Demanda nacional[1]	2,1	0,9	1,5	1,0	-3,9	-18,8	-7,8
Demanda externa[1]	0,1	1,2	0,3	0,7	-0,2	-2,7	-0,9
Exportaciones de bienes y servicios	1,1	3,2	2,7	2,1	-5,6	-38,1	-17,0
Importaciones de bienes y servicios	0,8	-0,1	2,0	0,3	-5,4	-33,5	-15,7

[1]Aportación al crecimiento del PIB a precios de mercado

Nota: INE (2020a)

Tabla 13

Producto interior bruto. Oferta. Volumen encadenado. Tasas de variación interanual.

Producto interior bruto. Oferta
Volumen encadenado. Tasas de variación interanual (%)

	2019				2020		
	Tr. I	Tr. II	Tr. III	Tr. IV	Tr. I	Tr. II	Tr. III
Producto interior bruto a precios de mercado	**2,2**	**2,1**	**1,8**	**1,7**	**-4,2**	**-21,5**	**-8,7**
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	0,7	-4,4	0,0	-5,3	-0,2	6,3	5,0
Industria	0,7	1,6	2,4	2,1	-5,2	-23,8	-3,6
Industria manufacturera	0,3	0,7	1,9	2,0	-5,9	-27,3	-4,0
Construcción	6,8	5,8	3,2	1,7	-6,6	-27,5	-11,0
Servicios	2,5	2,4	1,9	2,2	-3,2	-21,3	-9,8
Comercio, transporte y hostelería	3,0	2,6	2,7	2,8	-8,6	-44,9	-22,0
Información y comunicaciones	3,6	1,8	1,9	2,6	-1,8	-12,8	-7,3
Actividades financieras y de seguros	2,3	0,1	-1,2	-1,3	-0,1	0,8	6,2
Actividades inmobiliarias	2,8	2,7	2,4	2,6	1,1	-5,2	-3,1
Actividades profesionales, científicas y técnicas y otras	5,1	5,3	4,1	4,1	-2,5	-26,8	-13,1
Administración pública, educación y sanidad	0,8	1,5	1,0	1,5	0,9	-0,2	1,8
Actividades artísticas, recreativas y otros servicios	-0,3	1,8	-1,2	0,2	-8,2	-37,6	-18,5
Impuestos menos subvenciones sobre los productos	0,7	0,2	0,0	-0,3	-8,8	-23,4	-11,3

Nota: INE (2020a)

Tabla 14

Producto interior bruto. Precios corrientes. Tasas de variación interanual

Producto interior bruto
Precios corrientes. Tasas de variación interanual (%)

	2019				2020		
	Tr. I	Tr. II	Tr. III	Tr. IV	Tr. I	Tr. II	Tr. III
Producto interior bruto a precios de mercado	**3,5**	**3,5**	**3,2**	**3,3**	**-3,0**	**-20,7**	**-7,8**
Gasto en consumo final	2,7	2,6	2,4	2,5	-2,5	-17,3	-6,4
Gasto en consumo final de los hogares	2,0	1,8	1,8	1,8	-5,3	-25,1	-10,4
Gasto en consumo final de las ISFLSH	3,8	5,2	7,9	6,5	5,7	4,7	2,6
Gasto en consumo final de las AAPP	4,7	4,9	4,0	4,6	5,5	5,0	5,1
Formación bruta de capital	9,8	4,3	4,4	1,5	-4,0	-24,6	-12,7
Formación bruta de capital fijo	10,0	4,4	5,2	2,8	-3,8	-24,9	-11,3
Activos fijos materiales	11,9	4,9	5,8	2,8	-4,8	-28,3	-11,9
Viviendas y otros edificios y construcciones	11,6	7,4	4,5	0,7	-4,7	-26,4	-13,5
Maquinaria, bienes de equipo, sistemas de armamento y recursos biológicos	12,4	1,3	7,8	6,1	-5,0	-31,1	-9,5
Productos de la propiedad intelectual	1,3	2,2	2,3	2,8	1,4	-7,5	-8,0
Variación de existencias y adquisiciones menos cesiones de objetos valiosos[1]	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,4
Demanda nacional	4,2	3,0	2,8	2,3	-2,8	-18,8	-7,7
Exportaciones de bienes y servicios	2,5	3,6	2,2	2,3	-5,6	-38,6	-17,9
Importaciones de bienes y servicios	4,5	2,0	1,1	-0,9	-5,2	-34,6	-18,6
Producto interior bruto a precios de mercado	**3,5**	**3,5**	**3,2**	**3,3**	**-3,0**	**-20,7**	**-7,8**
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	-5,7	-9,4	5,1	2,1	5,7	21,0	6,9
Industria	2,9	4,4	3,3	4,4	-6,3	-22,3	-2,8
Industria manufacturera	2,1	2,9	3,6	5,8	-6,1	-25,7	-3,7
Construcción	10,5	10,7	7,8	7,1	-6,7	-21,7	-8,9
Servicios	3,3	3,6	3,1	3,4	-2,3	-20,1	-9,2
Comercio, transporte y hostelería	2,6	3,5	3,3	4,8	-9,3	-43,9	-21,5
Información y comunicaciones	2,6	1,9	2,1	4,0	-3,6	-10,3	-7,3
Actividades financieras y de seguros	11,1	-0,3	1,5	-17,2	9,4	-6,5	1,9
Actividades inmobiliarias	2,8	3,4	3,0	4,6	1,7	-3,8	-2,5
Actividades profesionales, científicas y técnicas y otras	5,7	5,5	4,9	5,9	-2,2	-25,2	-12,0
Administración pública, educación y sanidad	2,7	4,5	3,5	5,0	3,3	2,5	3,5
Actividades artísticas, recreativas y otros servicios	-0,2	3,0	-0,3	2,5	-7,7	-36,5	-17,4
Impuestos menos subvenciones sobre los productos	4,7	0,9	0,3	-1,2	-2,9	-33,6	-9,2

[1] Aportación al crecimiento del PIB a precios de mercado

Nota: INE (2020a)

Tabla 15

Producto interior bruto. Precios de mercado. Tasas de variación interanual

Producto interior bruto

Volumen encadenado. Tasas de variación intertrimestral (%)

	2019				2020		
	Tr. I	Tr. II	Tr. III	Tr. IV	Tr. I	Tr. II	Tr. III
Producto interior bruto a precios de mercado	**0,5**	**0,4**	**0,4**	**0,4**	**-5,2**	**-17,8**	**16,7**
Gasto en consumo final	0,4	0,0	0,7	0,3	-4,7	-14,6	14,3
Gasto en consumo final de los hogares	0,4	-0,3	0,8	0,1	-6,8	-20,4	20,7
Gasto en consumo final de las ISFLSH	1,5	1,4	1,6	-0,4	-0,9	0,2	-0,4
Gasto en consumo final de las AAPP	0,2	0,9	0,6	0,9	1,3	0,3	1,1
Formación bruta de capital	0,5	-0,3	0,7	-1,2	-4,6	-21,5	17,8
Formación bruta de capital fijo	1,2	-0,3	1,1	-1,0	-4,8	-22,1	19,9
Activos fijos materiales	1,2	-0,7	1,0	-1,4	-5,9	-24,9	24,4
Viviendas y otros edificios y construcciones	0,0	-0,4	-0,6	-1,3	-4,8	-22,6	16,6
Maquinaria, bienes de equipo, sistemas de armamento y recursos biológicos cultivados	3,0	-1,1	3,4	-1,7	-7,4	-28,6	37,4
Productos de la propiedad intelectual	0,9	1,4	1,2	1,4	0,5	-8,6	2,4
Demanda nacional	0,4	-0,1	0,7	0,0	-4,7	-16,1	15,0
Exportaciones de bienes y servicios	0,3	1,5	0,2	0,2	-7,4	-33,4	34,3
Importaciones de bienes y servicios	-0,2	0,3	1,3	-1,1	-5,8	-29,5	28,4
Producto interior bruto a precios de mercado	**0,5**	**0,4**	**0,4**	**0,4**	**-5,2**	**-17,8**	**16,7**
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	-4,0	-2,7	1,4	0,1	1,1	3,6	0,2
Industria	0,7	0,7	0,7	-0,1	-6,4	-19,1	27,4
Industria manufacturera	0,6	0,3	0,7	0,4	-7,2	-22,5	33,0
Construcción	1,4	0,6	-0,3	-0,1	-6,9	-21,9	22,5
Servicios	0,7	0,5	0,3	0,7	-4,7	-18,3	15,0
Comercio, transporte y hostelería	1,0	0,3	0,7	0,7	-10,1	-39,6	42,5
Información y comunicaciones	0,7	0,1	0,6	1,1	-3,6	-11,2	7,1
Actividades financieras y de seguros	-0,8	0,0	-0,5	0,0	0,5	0,9	4,9
Actividades inmobiliarias	0,6	0,5	0,6	0,8	-0,9	-5,7	2,8
Actividades profesionales, científicas y técnicas y otras	1,3	1,0	0,8	1,0	-5,2	-24,2	19,8
Administración pública, educación y sanidad	0,4	0,6	0,0	0,4	-0,1	-0,5	2,0
Actividades artísticas, recreativas y otros servicios	0,3	0,5	-1,2	0,6	-8,1	-31,6	29,0
Impuestos menos subvenciones sobre los productos	0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-8,4	-16,2	15,7

Nota: INE (2020a)

Apéndice VII: Descripción detallada del modelo aplicado (3.2)

A. Industrias

Las industrias producen utilizando rendimientos constantes a la tecnología de escala. Para cada sector j, esto se puede expresar generalmente como:

$$QI_j = f(KD_j, LD_j, TD_j, E_{1j}, \dots, E_{ij}, M_{1j}, \dots, M_{ij}, t) \text{ (A1)}$$

donde $KD_j, LD_j, TD_j, E_{ij}, M_{ij}$ son el capital, el trabajo, la tierra, la energía y los materiales necesarios para la producción. El rendimiento bruto antes de impuestos para los propietarios de capital fijo en el sector j es:

$$Profits_j = PO_j QI_j - PK_j KD_j - PL_j LD_j - PT_j TD_j - \sum_i PE_i E_{ij} - \sum_i PM_i M_{ij} \text{ (A2)}$$

donde $PI_j, PK_j, PL_j, PT_j, PE_i, PM_i K_j$ son los precios de los factores de producción y los insumos intermedios. Dados el stock de capital K_j y los precios de cada industria, las condiciones de primer orden de maximizar la ecuación (A2), sujetas a la ecuación (A1), determinan las demandas de insumos. Las funciones de producción utilizadas son Cobb-Douglas, con rendimientos constantes a escala utilizando tres factores primarios (capital, trabajo y tierra) y los 101 insumos intermedios, que se han desagregado entre energía y materiales.

$$QI_{jt} = g(t) KD_{jt}^{\propto_{kj}} LD_{jt}^{\propto_{lj}} TD_{jt}^{\propto_{tj}} E_{jt}^{\propto_{ej}} M_{jt}^{\propto_{mj}} \quad \text{(A3)}$$

donde α_{ij} son las participaciones de cada insumo i en el proceso de producción de la industria j. Como hay rendimientos constantes de escala, $\sum_i \alpha_{ij} = 1g(t)$. La participación de los insumos se obtiene a partir de los coeficientes técnicos de la tabla de uso en un marco de insumo-producto. Estos coeficientes pueden cambiar con el tiempo para proyectar diferentes estructuras económicas. El coeficiente g(t) es el progreso tecnológico, determinado exógenamente en esta versión del modelo.

En la ecuación (A3), se usan dos agregados adicionales, E_{jt} y M_{jt}. El primero comprende todas las entradas de energía y el segundo todas las entradas no energéticas. También pueden cambiar con el tiempo:

$$logE_{jt} = \sum_k \alpha_{kj}^e log\, A_{kjt},\ k = \text{Carbón, petróleo, gas, petróleo refinado y electricidad} \quad \text{(A4)}$$

$$logM_{jt} = \sum_k \alpha_{kj}^m log\, A_{kjt},\ k = \text{Insumos intermedios no energéticos} \quad \text{(A5)}$$

donde A_{kjt} es el tipo de coeficiente técnico input-output k para la industria j; α_{kj}^e en la ecuación (A4) es la participación de la energía de tipo k dentro de la entrada de energía agregada; y α_{kj}^m en la ecuación (A5) es la participación del insumo no energético de tipo k dentro del insumo intermedio no energético agregado.

Una vez definida como la producción de la industria al precio de los productores PO_j, el precio a precio de mercado de los compradores de esta producción incluye los impuestos indirectos sobre la producción, junto con el impuesto al carbono:

$$PI_j = \left(1 + t_j^t - t_j^s + t_j^{sp} + t_j^o + t_j^v\right)PO_j + t_j^c \quad \text{(A6)}$$

donde t_j^t es un impuesto sobre las ventas, t_j^s es un subsidio a la producción, t_j^{sp} es un impuesto especial (que también se puede desagregar en un impuesto especial sobre el alcohol, tabaco, hidrocarburos, electricidad e hidrocarburos al por menor), t_j^o es otros impuestos, t_j^v es un impuesto *ad valorem* sobre el carbono y t_j^c es un impuesto unitario sobre el carbono.

B. Hogares

Los hogares tienen diferentes roles en el modelo. Obtienen utilidad del consumo de mercancías, suministran trabajo (de forma inelástica) y poseen una parte del stock de capital. Además, reciben transferencias directas e intereses por la posesión de deuda pública y pagan impuestos y otras tasas. La ecuación (A7) muestra cómo se formula la renta privada disponible:

$$Y_p = YL + DIV + DIV_{LAND} + G_I + G_{Transfer} + G_{SS} + R_{Transfer} - Fee - NFY$$

(A7)

$$YL = (1 - t^l - t^{ss})PL\ LS \quad \text{(A8)}$$

$$DIV = (1 - t^{yk})DIV_{gross} \quad \text{(A9)}$$

En la ecuación (A7), YL son los ingresos laborales provenientes del suministro de LS horas de trabajo efectivo a PL euros por hora, deduciendo los impuestos sobre la renta (t^l es la tasa impositiva del impuesto sobre la renta) y las contribuciones sociales de los empleadores (t^{ss} es la tasa impositiva para las contribuciones sociales). Los hogares también obtienen ingresos de los dividendos de la empresa (DIV), después de deducir los impuestos sobre los dividendos (t^{yk} es la tasa impositiva para los dividendos) de los dividendos brutos (DIV_{gross}) y de la tierra (DIV_{LAND}). Otras fuentes de ingresos para los hogares son las transferencias: G_I son los intereses sobre los bonos del gobierno pagados a los hogares, $G_{Transfer}$ representan los pagos netos de transferencias del gobierno a los hogares, G_{ss} son los pagos del sistema de seguridad social a los hogares y $R_{Transfer}$ son las transferencias netas del resto del mundo; NFY es el valor de los ingresos netos del capital para el resto del mundo. Finalmente, FEE son otras tasas pagadas por los hogares al gobierno. En la dinámica del modelo, las

transferencias del gobierno y de la seguridad social evolucionan con el crecimiento poblacional.

En este modelo, la oferta laboral (LS) depende de la población en edad de trabajar (POP^w), el promedio anual de horas de trabajo efectivo (hr) y un índice de calidad laboral (q^l).

$$LS = POP^w \, hr \, q^l \tag{A10}$$

La renta disponible se distribuye entre el consumo (VCC_t) y el ahorro. La tasa de ahorro (s_t^p) del primer año se obtiene de las matrices de contabilidad social (SAM); sin embargo, es una variable exógena para los otros años, para determinar el ahorro privado (S_t^p). Una formulación de crecimiento de Solow proporciona la dinámica del modelo.

$$S_t^p = s_t^p Y_t^p = Y_t^p - VCC_t \tag{A11}$$

La utilidad en los hogares en cada período de tiempo se deriva del consumo de bienes y servicios. Se emplea una función de utilidad Cobb-Douglas utilizando los patrones de consumo del SAM durante el primer año. Esta función, sin embargo, puede cambiar con el tiempo para ajustarse a la dinámica del modelo.

$$U_t = U(C_{1t}, \dots, C_{nt}) = \sum_i \alpha_{it}^c \, log C_{it} \tag{A12}$$

Las condiciones de primer orden de la ecuación (A12) determinan la demanda de productos básicos por parte de los hogares (C_{it}). Por lo tanto, el presupuesto de los hogares se puede establecer como:

$$VCC = \sum_i PS_i \, C_i \tag{A13}$$

C. Gobierno

Las funciones del gobierno en el modelo incluyen el establecimiento de impuestos, la compra de productos básicos y la redistribución de ingresos. Los ingresos del gobierno (Rev) provienen de impuestos directos sobre el capital (R_K), el trabajo (R_L), la propiedad (R_{Prop}) y los dividendos (R_{YK}); impuestos indirectos sobre la producción y los productos básicos, incluido el IVA (R_{VAT}), el impuesto sobre las ventas (R_{Sales}), los impuestos especiales sobre el alcohol, el tabaco, los hidrocarburos, la electricidad y los hidrocarburos al por menor ($R_{Special}$) y otros impuestos (R_O); contribuciones de seguridad social (R_{SS}); aranceles a las importaciones (R_{Tariff}); el impuesto al carbono (R_c); y otros ingresos no tributarios tanto de los hogares ($TAXN_{HH}$) como de las empresas ($TAXN_{ENT}$). Las subvenciones a la producción ($R_{subsidy}$) se deducen de los ingresos como ingresos negativos.

$$Rev = R_K + R_L + R_{Prop} + R_{YK} + R_{VAT} + R_{Sales} + R_{Special} + R_O + R_{SS} + R_{Tariff} + R_C + TAXN_{HH} + TAXN_{ENT} - R_{subsidy} \quad \text{(A14)}$$

donde las diferentes fuentes de ingresos son:

$$R_K = \sum_j t^k \left(\left(1 - t_j^{vat}\right) PK_j KD_j - \sum_j t^p PK_j KD_j \right) \quad \text{(A15)}$$

$$R_L = t^l \sum_j PL_j \, LD_j \quad \text{(A16)}$$

$$R_{Prop} = t^p \sum_j PK_j KD_j \quad \text{(A17)}$$

$$R_{YK} = t^{yk} DIV_{gross} \quad \text{(A18)}$$

$$R_{VAT} = \sum_j t_j^{vat} \left(PK_j KD_j + PL_j LD_j + P_{Land_j} L_{Land_j} \right) \quad \text{(A19)}$$

$$R_{Sales} = \sum_j t_j^t PO_j QI_j \quad \text{(A20)}$$

$$R_{Special} = \sum_j t_j^{sp} PO_j QI_j \quad \text{(A21)}$$

$$R_O = \sum_j t_j^o PO_j QI_j \quad \text{(A22)}$$

$$R_{SS} = t^{ss} \sum_j PL_j \, LD_j \quad \text{(A23)}$$

$$R_{Tariff} = \sum_i t_i^m \, e \, PM_i M_i \quad \text{(A24)}$$

$$R_c = \sum_j \left(t_j^v PO_j QI_j + t_j^c QI_j + t_j^{mv} \, e \, PM_j M_j + t_j^{mc} \, M_j \right) \quad \text{(A25)}$$

$$TAXN_{HH} = g_{NHH} \, GDP \quad \text{(A26)}$$

$$TAXN_{ENT} = G_{ENT} \, GDP \quad \text{(A27)}$$

$$R_{subsidy} = \sum_j t_j^s PO_j QI_j \quad \text{(A28)}$$

Donde t_j^{VAT} es la tasa impositiva del IVA, e es el tipo de cambio, t_i^m es la tasa impositiva a las importaciones, t_i^{mv} es el impuesto al carbono *ad valorem* sobre las importaciones, t_j^{mc} es un impuesto unitario al carbono sobre las importaciones, g_{NHH} es el coeficiente para los pagos no tributarios de los hogares al gobierno, G_{ENT} es el coeficiente para pagos no tributarios de las empresas al gobierno, y GDP es el producto interior bruto.

El impuesto al carbono por unidad de combustible i se modela así:

$$t_j^c = t^x \theta_j \quad \text{(A29)}$$

Donde t^x es el impuesto unitario al carbono en euros por tonelada de carbono y θ_j es el coeficiente de emisiones por tipo de combustible j.

Por otro lado, el gasto público total se modela así:

$$Expend = VGG + G_{INV} + G_{IR} + G_{SS} + G_{INT} + G_{Transf} \quad \text{(A30)}$$

donde VGG es el gasto público en bienes y servicios, G_{INV} las inversiones del gobierno, G_{IR} los pagos netos del gobierno al resto del mundo, G_{SS} los pagos de contribuciones

sociales, G_{INT} los intereses pagados por el gobierno por las dotaciones de deuda pública y G_{Transf} las transferencias netas a los hogares. Las compras gubernamentales de productos básicos específicos se asignan como partes del valor total de los gastos gubernamentales:

$$PS_i G_i = \alpha_i^G VGG \tag{A31}$$

La cantidad real de compras gubernamentales se deriva de compras nominales (VGG) y un índice de precios: $\log PGG = \sum_i \propto_i^G \log PS_i$. La cantidad real de compras gubernamentales (GG) se puede definir como $GG = {}^{VGG}/_{PGG}$. El déficit presupuestario del gobierno para cada período ($.\Delta G_t$) se deriva de la diferencia entre los gastos ($Expend_t$) y los ingresos (Rev_t), y se establece de manera exógena.

$$\Delta G_t = Expend_t - Rev_t \tag{A32}$$

D. Capital, inversión y sistema financiero

El capital social en cada período para cada industria (K_{jt}) se define como el capital social del período anterior ($K_{jt}K_{jt-1}$) menos la depreciación (δ), más las inversiones en el período actual (I_{jt}):

$$K_{jt} = (1 - \delta)K_{jt-1} + I_{jt} \tag{A33}$$

Cada sector puede "alquilar" capital del stock total. La asignación de capital de mercado a sectores individuales se basa en tasas de rendimiento sectoriales. La oferta de capital social es función de todos los precios de alquiler del capital de mercado:

$$K_{jt} = K_j(PK_1, \dots, PK_n) \tag{A34}$$

La tierra es un factor de producción en tres sectores: agricultura, ganadería y caza; productos de silvicultura, explotación forestal y servicios relacionados; y pescado y otros productos pesqueros. Se supone que la tierra se suministra de forma inelástica. Los ingresos derivados de la tierra se distribuyen a los hogares, mientras que los ingresos derivados del capital se distribuyen a las empresas. Después, las empresas distribuyen estos ingresos como dividendos, impuestos sobre la renta corporativos (R_K) y ganancias pendientes de aplicación (RE_j):

$$\sum_j Profits_j + PK_j KD_j = R_K + RE_j \quad \text{(A35)}$$

Centrándose ahora en la demanda de inversión total, en cada período la inversión total (II_t) está determinada por el ahorro total. Para determinar las inversiones individuales en cada sector, se calculan las participaciones fijas de la industria a partir de la matriz de uso ($\propto_{jt}^{I}$):

$$PI_{jt} I_{jt} = \propto_{jt}^{I} II_t \quad \text{(A36)}$$

Donde PI_{jt} es el precio de la inversión e I_{jt} es la cantidad.

E. Sector Exterior

Los bienes y servicios producidos en el resto del mundo se consideran sustitutos imperfectos de los productos nacionales. La oferta total de productos básicos i es una función de elasticidad de sustitución constante de Armington (CES) de los productos básicos nacionales (QI_i) e importados (M_i).

$$QS_i = A_0 \left[\alpha^d QI_i^{\rho} + \alpha^m M_i^{\rho}\right]^{1/\rho} \quad \text{(A37)}$$

El valor total de la oferta es:

$$PS_i QS_i = PI_i QI_i + PM_i M_i \quad \text{(A38)}$$

El precio de las importaciones a precio de comprador es el precio exterior (PM_i^*) más los aranceles (t_i^m) y el IVA de las importaciones (t_i^{mvat}) (menos las subvenciones a la exportación implícitas en los aranceles), multiplicado por un precio relativo mundial (e). Los precios relativos de las materias primas extranjeras y el saldo en cuenta corriente se establecen de forma exógena.

$$PM_i = e\,(1 + t_i^m + t_i^{mvat}) PM_i^* \quad \text{(A39)}$$

Las exportaciones se modelan en función del precio interno (PI_i) en relación con los precios mundiales (PE_i^*) ajustados por las subvenciones a la exportación (S_i^e).

$$X_i = EX_i \left[\frac{PI_i}{e(1+s_i^e+PE_i^*)}\right]^{\eta_i} \quad \text{(A40)}$$

Donde X_i es la demanda total de exportaciones; η_i es la elasticidad de la demanda de exportaciones. Para proporcionar una curva de demanda con pendiente negativa, se ha elegido un valor de –1,2. Finalmente, EX_i están las exportaciones, las cuales se estiman de manera exógena.

El saldo de la cuenta corriente se modela de la siguiente manera:

$$CA = \sum_i \frac{PI_i X_i}{(1+s_i^e)} - \sum_i PM_i M_i - NFY - G_{IR} + R_{Transfer} \quad \text{(A41)}$$

donde NFY es el valor de los ingresos netos del capital para el resto del mundo; G_{IR} son pagos netos del gobierno al resto del mundo y $R_{Transfer}$ son transferencias netas del resto del mundo a los hogares. El déficit por cuenta corriente se fija de forma exógena.

F. Mercados

Los precios son endógenos en el modelo y se ajustan para despejar todos los mercados; por tanto, la economía está en equilibrio en el período t en el que los precios compensan los mercados de los 101 productos básicos y los tres factores de producción. La oferta de la mercancía i debe ser igual a la suma de las demandas intermedias y finales:

$$QS_i = \sum_j A_{ij} + C_i + G_i + X_i \quad \text{(A42)}$$

Se supone que la mano de obra es perfectamente móvil entre sectores, por lo que un salario de mercado promedio equilibra la oferta y la demanda. Se distribuye este salario utilizando coeficientes de distribución salarial (ψ_{jt}^L). Las industrias pagan $PL_{jt} = \psi_{jt}^L PL_t$ por unidad de trabajo. El equilibrio del mercado laboral es entonces:

$$\sum_j \psi_{jt}^L LD_{jt} = LS_t \quad \text{(A43)}$$

La ecuación (A10) detalla cómo los hogares ofrecen mano de obra en cada período (LS_t). El mercado de capitales se ajusta de manera similar, utilizando coeficientes de distribución del precio de alquiler del capital (ψ_{jt}^K):

$$KD_{jt} = \sum_j \psi_{jt}^K K_{jt} \quad \text{(A44)}$$

El precio PT_j de alquiler se ajusta para despejar el mercado de tierras para los sectores de agricultura, ganadería y caza; productos de silvicultura, explotación forestal y servicios relacionados; y pescado y otros productos pesqueros. T se establece exógenamente y es igual al valor del año base.

$$TD_j = T_j \quad \text{(A45)}$$

La inversión es igual a los ahorros en este modelo. No existe un mercado donde la oferta de ahorro se equipare a la demanda de inversión. El ahorro total de los hogares

(S^P), las empresas (como ganancias pendientes de aplicación) y el gobierno (G_{INV}) es igual al valor total de la inversión (II) más el déficit presupuestario (ΔG) y la inversión extranjera neta (CA).

$$S^P + RE + G_{INV} = II + \Delta G + CA \quad \text{(A46)}$$

G. Emisiones de energía y contaminantes

Se modelan las emisiones contaminantes como externalidades del consumo. Estas emisiones provienen de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas). Las emisiones totales de CO2 y otras externalidades EXT_x se calculan como:

$$EXT_x = \sum_i \theta_i \, (QI_i - X_i) + \sum_i \vartheta_i M_i \quad \text{(A47)}$$

donde la emisión de x procedente del uso de un producto nacional i viene dada por el coeficiente θ_i, y la emisión de una unidad de importación es ϑ_i.

En este modelo, primero se obtiene la cantidad en toneladas de diferentes hidrocarburos (carbón, petróleo y gas), después se calcula la energía utilizada y posteriormente, la cantidad de emisiones. Se usan coeficientes de cantidad, energía y emisiones:

$$EXT_x = \sum_i c_i e_i q_i \, (QI_i - X_i) + \sum_i c_i e_i q_i M_i \quad \text{(A48)}$$

donde c_i son los coeficientes de cantidad en toneladas por euro para cada hidrocarburo i, e_i son los coeficientes de energía en toneladas por julio para cada hidrocarburo i y q_i el coeficiente de emisiones en toneladas de contaminante x por julio para cada hidrocarburo i. Los contaminantes, el carbón y el petróleo se miden en toneladas, mientras que el gas natural se mide en metros cúbicos.

Apéndice VIII: Formas de contabilizar las emisiones

Hay dos formas principales de contar las emisiones: una es simplemente contar la cantidad total de suministro de un combustible en particular, que es una medida en dólares o euros constantes de las cuentas de la industria nacional, y multiplicar por un coeficiente de emisiones (como en la Ecuación 1) (Jorgenson et al., 2013), (Wing et al., 2011). Otro método reconoce que diferentes industrias compran diferentes variedades de combustible (a diferentes precios por tonelada en los datos reales) y aplican diferentes coeficientes de emisión. Solo hay un precio endógeno en el mercado para ese combustible, y las relaciones históricas de precios relativos para las diferentes variedades se mantienen exógenamente en este método (Jorgenson et al., 2018).

Apéndice IX: GAMS y la rutina CONOPT

El General *Algebraic Modeling System* (GAMS) es un software para el modelado de sistema para la optimización matemática. Se pueden resolver problemas lineales, no lineales y de optimización entera mixta. Permite aplicaciones de modelado a gran escala (multivariantes).

CONOPT (ARKI Consulting & Development A/S) es un solucionador para optimización no lineal (NLP) a gran escala desarrollado y mantenido por ARKI Consulting & Development A/S en Bagsvaerd, Dinamarca. Ha estado en continuo desarrollo durante más de 25 años.

CONOPT es un solucionador de ruta factible basado en el antiguo método GRG (*Generalized Reduced Gradient*) probado con muchas extensiones más nuevas. CONOPT ha sido diseñado para ser eficiente y confiable para una amplia clase de modelos. El método GRG original ayuda a lograr confiabilidad y velocidad para modelos con un alto grado de no linealidad, es decir, modelos difíciles, y CONOPT

suele ser preferible para modelos muy no lineales y para modelos donde la viabilidad es difícil de lograr. Las extensiones del método GRG, como el preprocesamiento, una fase 0 especial, iteraciones de modo lineal, una programación lineal secuencial y un componente de programación cuadrática secuencial, hacen que CONOPT también sea eficiente en modelos más fáciles y levemente no lineales. La arquitectura multimétodo de CONOPT, combinada con la lógica integrada para la selección dinámica del método más apropiado, hace de CONOPT un solucionador de NLP sólido y completo.

Todos los componentes de CONOPT han sido diseñados para modelos grandes y escasos. Los modelos con más de 10.000 restricciones se resuelven de forma rutinaria. También se han resuelto con CONOPT modelos especializados con hasta 1 millón de restricciones. El factor limitante es difícil de definir. Es una combinación del número de restricciones o variables con el número de variables súper básicas, una medida de los grados de libertad alrededor del punto óptimo. Los modelos con más de 500 variables súper básicas a veces pueden ser lentos. Sin embargo, los nuevos métodos basados en la segunda derivada han hecho que estos modelos sean mucho más fáciles con el nuevo CONOPT versión 3 que con nuestro anterior CONOPT versión 2.

Apéndice X: Agregación de las 101 industrias en 5 sectores

Tabla 16

Agregación de las 101 industrias en 5 sectores

Grupo industrial	Industrias de la SAM
Carbón	Turba de carbón y lignito
Aceite	Extracción de petróleo crudo y servicios relacionados con la extracción de petróleo crudo, excluida la topografía
Gas	Extracción de gas natural y extracción de minerales de uranio y torio
Otras energías	Coque, refinamiento de petróleo y combustible nuclear Electricidad por carbón Electricidad por gas Electricidad por vía nuclear Electricidad por hidro Electricidad por viento Electricidad por petróleo y otros derivados del petróleo Electricidad por biomasa y residuos

	Electricidad por energía solar Electricidad otros Servicios de transporte de electricidad Servicios de distribución y comercio de electricidad Producción y distribución de gas
No energético	Agricultura, ganadería y caza Productos de la silvicultura, la explotación forestal y los servicios conexos Pescado y otros productos de la pesca Extracción de minerales metálicos Minerales no metálicos no energéticos Agua recolectada y purificada, servicios de distribución de agua Carne y productos cárnicos Productos lácteos y helados Fabricación de otros productos alimenticios Fabricación de bebidas Productos del tabaco Textiles Usar ropa; Pieles Fabricación de cuero y productos de cuero Madera, y productos de madera y corcho Fabricación de pasta, papel y productos de papel Impresos y medios grabados Fabricación de productos químicos y productos químicos Fabricación de productos de caucho y plástico Cemento, cal y yeso Vidrio y productos de vidrio Artículos cerámicos Otros productos minerales no metálicos Metales básicos Productos metálicos fabricados, excepto maquinaria y equipo Fabricación de maquinaria y equipo Maquinaria de oficina y ordenadores Maquinaria y aparatos eléctricos Fabricación de equipos y aparatos electrónicos Precisión médica e instrumentos ópticos, relojes y relojes Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques Fabricación de otros equipos de transporte Fabricación de muebles Materias primas secundarias recuperadas Construcción Venta, mantenimiento, reparación de vehículos de motor, piezas de vehículos de motor, motocicletas, piezas de motocicletas y accesorios Servicios comerciales al por menor de carburante para automóviles Comercio al por mayor y servicios de comercio por comisiones Servicios comerciales al por menor; servicios de reparación de bienes personales Servicios del hotel Servicios de restaurante Transporte por ferrocarril Otros transportes terrestres; transporte a través de tuberías Servicios de transporte acuático Servicios de transporte aéreo Actividades de apoyo y transporte auxiliar Actividades de las agencias de viajes Servicios de correos y mensajería Servicios de intermediación financiera, excepto los servicios de seguros y de financiación de pensiones Servicios de seguros y de financiación de pensiones, excepto los servicios obligatorios de seguridad social Servicios auxiliares de intermediación financiera Actividades inmobiliarias Alquiler de maquinaria, artículos personales y del hogar Informática y servicios relacionados Investigación y desarrollo

	Otras actividades empresariales Administración Pública y Servicios de Defensa; servicios obligatorios de seguridad social Servicios de educación de mercado Servicios educativos no de mercado Salud de mercado y trabajo social Salud no comercial y trabajo social Residuos alimentarios para tratamiento: incineración Residuos de papel para tratamiento: incineración Residuos plásticos para tratamiento: incineración Residuos metálicos para tratamiento: incineración Residuos textiles para tratamiento: incineración Residuos de madera para tratamiento: incineración Aceite/residuos peligrosos para el tratamiento: incineración Residuos alimentarios para tratamiento: biogasificación y aplicación de la tierra Residuos de papel para tratamiento: biogasificación y aplicación de la tierra Lodos de depuradora para tratamiento: biogasificación y aplicación de suelo Residuos alimentarios para tratamiento: compostaje y aplicación en tierra Residuos alimentarios para tratamiento: tratamiento de aguas residuales Otros residuos para el tratamiento: tratamiento de aguas residuales Residuos alimentarios para tratamiento: vertedero Papel para tratamiento: vertedero Residuos plásticos para tratamiento: vertedero Residuos inertes/metálicos/peligrosos para su tratamiento: vertedero Residuos textiles para tratamiento: vertedero Residuos de madera para tratamiento: vertedero Servicios de organización de membresía de mercado Actividades recreativas, culturales y deportivas de mercado Actividades recreativas, culturales y deportivas no comerciales y de organización de membresía Otros servicios Hogares privados con personas empleadas

Nota: elaboración propia

Apéndice XI: Aclaración sobre las elasticidades aplicadas en el modelo

Los cambios en la cantidad se deben principalmente a la suposición de funciones de entrada de elasticidad unitaria. El uso de las elasticidades de GTAP para las funciones CES habría generado respuestas más pequeñas a corto plazo. Si bien los supuestos elásticos pueden exagerar la respuesta a corto plazo, puede pensarse que el largo horizonte de estas políticas justifica el uso de respuestas más elásticas. Las estimaciones de funciones translogarítmicas en (Jorgenson et al., 2013) muestran una sustitución bastante elástica.

Apéndice XII: Datos contribución de cada uno de los sectores difusos a las emisiones de CO_2 en España, 2018

Tabla 17

Contribución de cada uno de los sectores difusos a las emisiones de CO_2 en España, 2018

AÑO 2018	
Residencial, comercial e institucional	14%
Transporte	43%
Gestión de residuos	7%
Agricultura	19%
Gases fluorados	3%
Otros: industria fuera comercio emisiones, disolventes, etc	14%
Total	100%

Nota: Ministerio para la Transición Ecológica y El Reto Demográfico (2021)

Apéndice XIII: Biocombustibles de segunda generación

Los biocombustibles 2G (segunda generación), son aquellos combustibles que comparten con los de la primera generación el intento de disminuir el calentamiento global y la dependencia de los combustibles fósiles, pero que además tienen las siguientes características diferenciadoras (TRAXCO, 2012):

- Las materias primas a partir de las que se realiza su producción no son fuente de alimentos.
- La elaboración se lleva a cabo con procesos tecnológicos más óptimos y el cultivo se realiza en terrenos marginales o no agrícolas.
- Gracias a que no precisa de una maquinaria agrícola específica o diferente a la que se usa en cualquier explotación, el productor agrícola puede complementar sus explotaciones con cultivos de este tipo.

- Se trata de cultivos poco exigentes, que podrían cultivarse en tierras no demasiado buenas con baja productividad y abandonadas, e incluso en algunas situaciones, podrían ser útiles para recuperar terrenos erosionados.
- Necesitan menos recursos para su producción (fertilizantes, pesticidas, agua, terrenos…).

Apéndice XIV: El plan nacional integrado de energía y clima (PNIEC) 2021-2030.

El objetivo del PNIEC es el de conseguir una reducción de un 23% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto al nivel de emisiones de 1990. Esto conlleva reducir en un tercio las emisiones actuales. La motivación de este plan tiene su origen en el Green Deal de la UE y en el Acuerdo de París (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020a).

Los objetivos perseguidos por este plan de cara a 2030 son los siguientes:

- 40% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 32% de renovables sobre el consumo total de energía final bruta.
- 32,5% de mejora de la eficiencia energética.
- 15% interconexión eléctrica de los Estados miembros.

El objetivo final perseguido por la UE es el de tener una economía climáticamente neutra en 2050.

Apéndice XV: Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica

El 27 de septiembre de 2019 se aprueba en Consejo de Ministros el I Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica. De esta manera. España cumple

con lo establecido en la Directiva de Techos Nacionales de Emisión (UE, 2001) y presenta a la Comisión Europea el primer Programa destinado a la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos.

Establece 57 medidas transversales y sectoriales en consonancia con las políticas climáticas y energéticas definidas en el borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030.

Permitirá reducir de manera muy significativa, en 2030, los niveles de contaminantes muy nocivos para la salud: un 92% los de dióxido de azufre (SO_2), un 66% los de óxidos de nitrógeno (NO_x), un 30% en compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), un 21% en amoníaco (NH_3) y un 50% en partículas finas (PM 2,5). Con este objetivo, el PNCCA plantea un total de 57 medidas que están agrupadas por sectores de actividad en 8 paquetes sectoriales (mix energético, transporte, industria, eficiencia energética en industria manufacturera y en el sector residencial y comercial, generación y gestión de residuos, agricultura y ganadería) y 5 destinados a mejorar la situación a futuro de los compuestos orgánicos volátiles. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019).

En la siguiente tabla (Tabla 18) se ilustran los objetivos de reducción de los contaminantes citados para los años 2020 y 2030:

Tabla 18

Reducción de los contaminantes muy nocivos

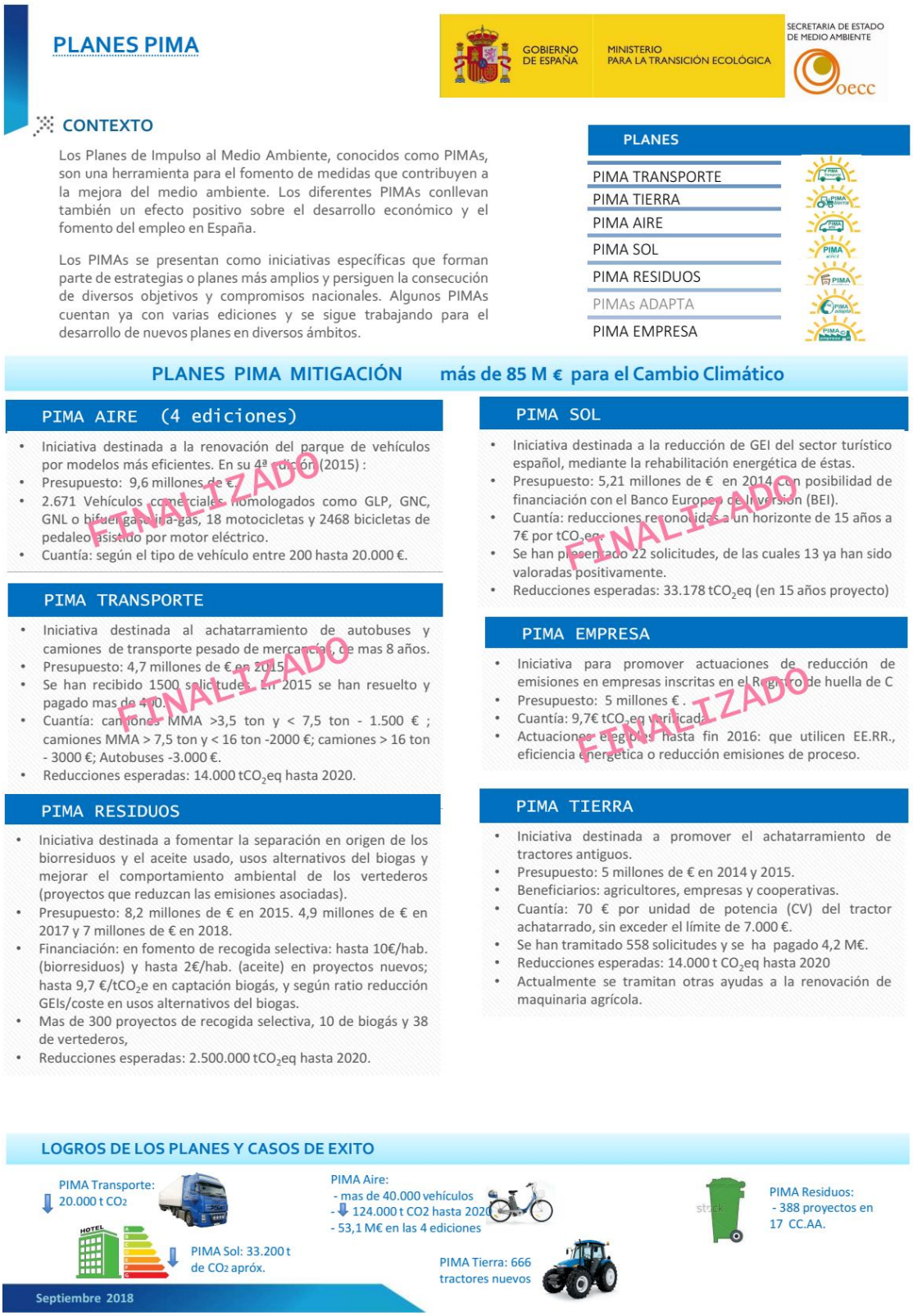
		SO2	NOx	COVNM	NH3	PM2,5
Objetivos 2020-2029		67%	41%	22%	3%	15%
Cumplimiento Escenario	2020	83%	46%	26%	5%	21%
Objetivos a partir de 2030		88%	62%	39%	16%	50%
Cumplimiento Escenario	2030	92%	66%	30%	21%	50%

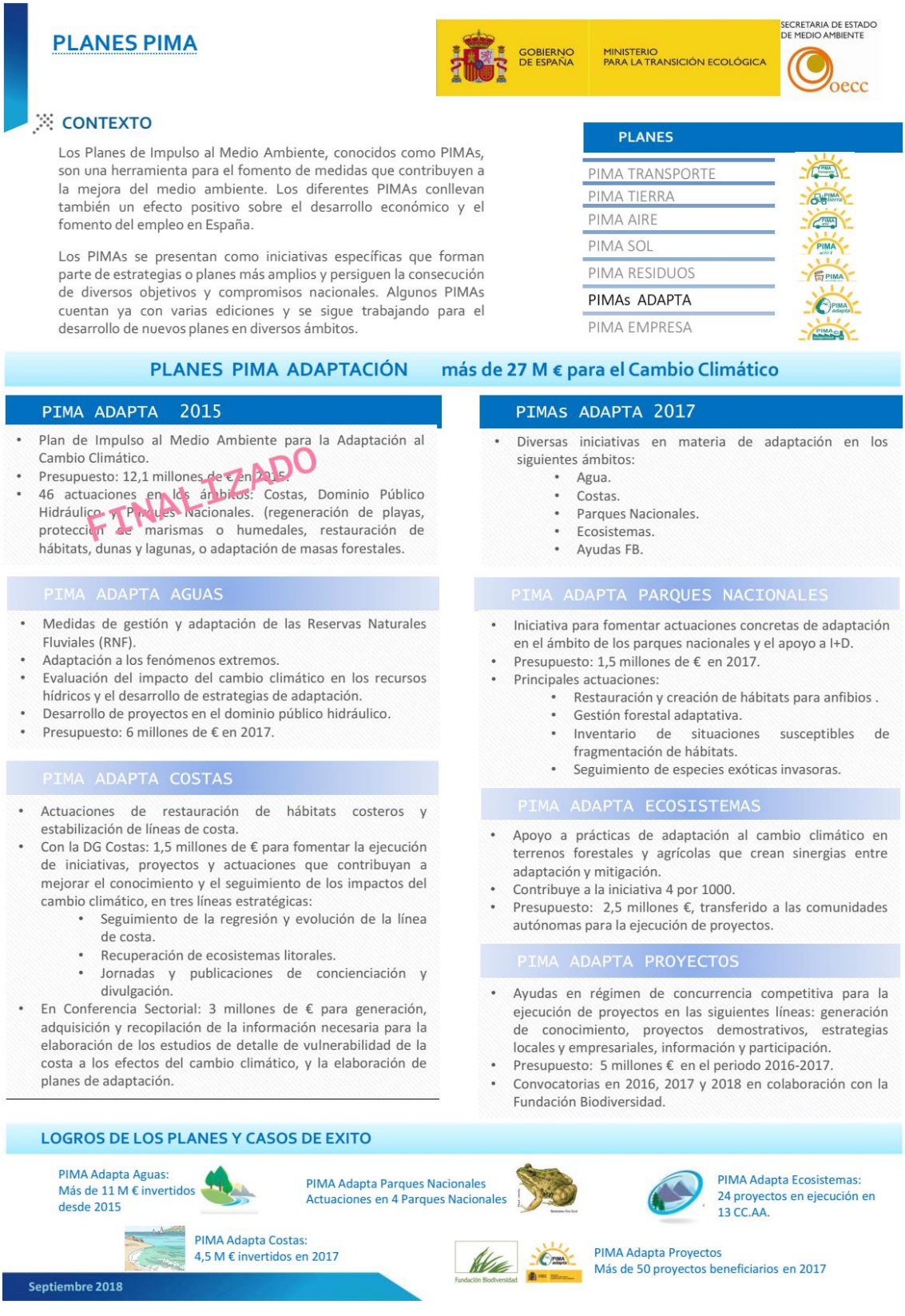
Nota: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2019)

Apéndice XVI: Planes PIMA

Figura 86

Ficha planes PIMA





Nota: Secretaría de Estado de Medioambiente (2018)

Apéndice XVII: PIB real Y PIB nominal

El PIB nominal es el valor medido a precios de mercado de la producción de bienes y servicios finales producidos en un país durante un año.

El PIB real es el valor de la citada producción, pero medida a precios constantes.

Esto significa que el PIB nominal refleja los incrementos o disminuciones de los precios, si hay inflación o deflación respectivamente. El PIB real toma como base los precios de un año y permite hacer una comparación de la producción de un determinado país en periodos de tiempo diferentes, pues elimina los cambios ocasionados en los precios y refleja fielmente el poder adquisitivo neto, sin influir los cambios de precios a lo largo del tiempo.

Apéndice XVIII: Cuentas medioambientales

Figura 87

Cuentas medioambientales españolas. 2020 y avance 2021

Instituto Nacional de Estadística — Notas de prensa

15 de noviembre de 2022

Cuentas medioambientales. Cuenta de Emisiones a la Atmósfera
Avance 2021 y año 2020

La economía española emitió 294,9 millones de toneladas de Gases de Efecto Invernadero en 2021, un 5,7% más que en 2020

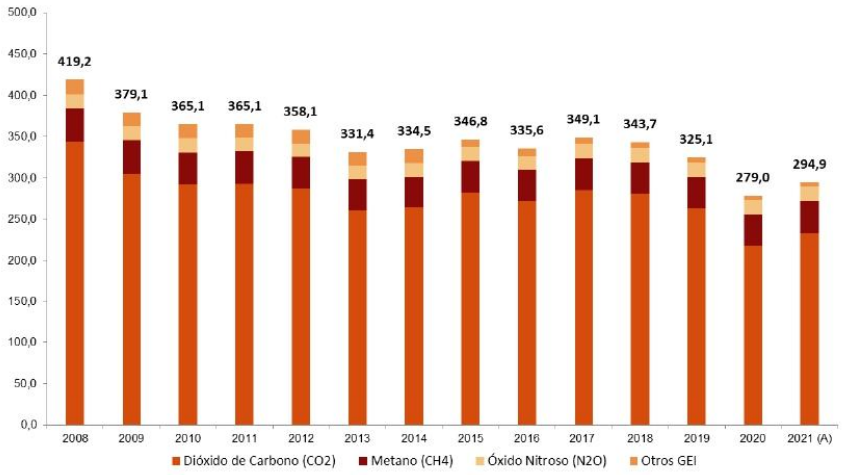
Estas emisiones han disminuido un 29,6% desde 2008

El 23,0% de las emisiones correspondieron a los hogares

La Cuenta de Emisiones a la Atmósfera registra las emisiones realizadas por las unidades económicas residentes, tanto en el territorio económico como fuera de él.

En 2021 las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) aumentaron un 5,7% y se situaron en 294,9 millones de toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (tCO_2e)[1].

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
Unidad: millones de toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (tCO_2e)



Entre 2008 (primer año de la serie contable) y 2021, la disminución de las emisiones de GEI ha sido del 29,6%.

[1] Para realizar la comparación de las emisiones a la atmósfera de los gases de efecto invernadero distintos del dióxido de carbono, todos son convertidos a su valor de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global.

Cuentas medioambientales. Cuenta de Emisiones a la Atmósfera - Año 2020 (1/5)

Existen distintos Gases de Efecto Invernadero. Los principales, por su nivel de emisiones, son el Dióxido de Carbono (CO_2), el Metano (CH_4) y el Óxido Nitroso (N_2O).

Las emisiones de Dióxido de Carbono a la atmósfera aumentaron un 7,1% en 2021 y las de Metano un 1,0%. Por su parte, las de Óxido Nitroso se mantuvieron en niveles similares a los del año anterior.

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por tipo de gas. Año 2021
Unidad: miles de toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (tCO_2e)

	Total	% sobre el total	% variación anual	incidencia
CO_2 – Dióxido de carbono	233.699,7	79,2	7,1	5,574
CH_4 – Metano	38.131,9	12,9	1,0	0,140
N_2O – Óxido nitroso	17.694,3	6,0	0,0	0,002
Otros GEI	5.418,5	1,9	-0,2	-0,004
TOTAL	294.944,4	100,0	5,7	

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por ramas de actividad y hogares

La *Industria manufacturera* concentró el 25,4% del total de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en 2021. Los *Hogares* emitieron un 23,0% del total y la *Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca* un 17,3%.

Las ramas de actividad que más aumentaron sus emisiones de GEI en 2021 fueron los *Servicios de transporte y almacenamiento* (18,3%) y los *Hogares* (10,2%).

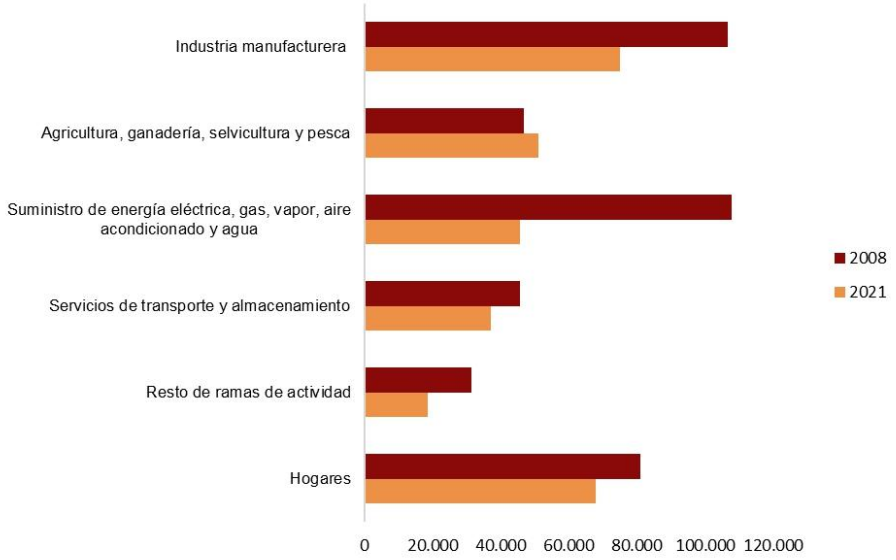
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por ramas de actividad y hogares
Unidad: miles de toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (tCO_2e)

	TOTAL GEI	% sobre el total	% Variación anual	% Variación con respecto a 2008
Industria manufacturera	74.877,8	25,4	3,7	-29,9
Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca	51.079,9	17,3	0,7	9,1
Suministro de energía eléctrica, gas, vapor, aire acondicionado y agua	45.608,6	15,5	0,6	-57,7
Servicios de transporte y almacenamiento	37.074,8	12,6	18,3	-18,5
Resto de ramas de actividad	18.536,3	6,2	3,6	-40,8
Hogares	67.767,0	23,0	10,2	-16,3
TOTAL	294.944,4	100,0	5,7	-29,6

Respecto al año 2008, las ramas de actividad que más han disminuido las emisiones de GEI son *Suministro de energía eléctrica, gas, vapor, aire acondicionado y agua* (–57,7%) y *Resto de ramas de actividad* (–40,8%).

Notas de prensa • Instituto Nacional de Estadística

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por ramas de actividad y hogares. Años 2008 y 2021
Unidad: miles de toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (tCO_2e)



Las mayores cantidades de Dióxido de Carbono emitidas en 2021 correspondieron a la *Industria manufacturera* (70,0 millones de toneladas), los *Hogares* (65,0 millones) y los *Servicios de transporte y almacenamiento* (36,4 millones).

Por su parte, la *Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca* emitió las mayores cantidades de Metano (64,0% del total) y de Óxido Nitroso (77,8%).

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por tipo de gas, ramas de actividad y hogares. Año 2021
Unidad: miles de toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (tCO_2e)

	TOTAL GEI	Dióxido de carbono (CO_2)	Metano (CH_4)	Óxido nitroso (N_2O)	Otros GEI
Industria manufacturera	74.877,8	69.960,5	2.113,2	592,4	2.211,7
Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca	51.079,9	12.884,1	24.397,6	13.767,7	30,5
Suministro de energía eléctrica, gas, vapor, aire acondicionado y agua	45.608,6	33.117,0	10.601,1	1.548,4	342,0
Servicios de transporte y almacenamiento	37.074,8	36.421,4	42,8	417,5	193,2
Resto de ramas de actividad	18.536,3	16.273,6	276,4	745,0	1.241,2
Hogares	67.767,0	65.043,1	700,8	623,3	1.399,9
TOTAL	294.944,4	233.699,7	38.131,9	17.694,3	5.418,5

Cuentas medioambientales. Cuenta de Emisiones a la Atmósfera - Año 2020 (3/6)

Otras emisiones a la atmósfera. Año 2020

Otros problemas ambientales que provocan efectos perjudiciales para el medio ambiente y la salud son los gases acidificantes, los gases precursores del ozono troposférico y las partículas (polvo fino).

Emisiones de Contaminantes atmosféricos. Año 2020
Unidad: miles de toneladas

	TOTAL	% Variación anual	% Variación con respecto a 2008
Gases Acidificantes	1.555,2	-7,7	-27,4
Gases Precursores del Ozono Troposférico	1.632,7	-12,6	-33,4
Partículas PM2.5	121,9	-5,8	-19,5

Los gases acidificantes, que incluyen los Óxidos de Azufre (SO_x), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Amoniaco (NH_3) medidos en toneladas equivalentes de Dióxido de Azufre (tSO_2e)[2] en función de su grado de acidificación, se redujeron un 7,7% en 2020.

Los gases precursores del ozono troposférico, que se corresponden con los Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (COVNM), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Metano (CH_4) y Monóxido de Carbono (CO) medidos en toneladas equivalentes de COVNM[2], disminuyeron un 12,6% en 2020.

Por su parte, las emisiones de partículas de diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micras ($PM_{2.5}$) bajaron un 5,8% en 2020, al alcanzar 121,9 miles de toneladas.

Las mayores emisiones de gases acidificantes correspondieron a la *Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca* (1.039,9 miles de toneladas de tSO_2e), la *Industria manufacturera* (162,4) y los *Servicios de transporte y almacenamiento* (127,8).

Emisiones de contaminantes atmosféricos por ramas de actividad y hogares. Año 2020
Unidad: miles de toneladas

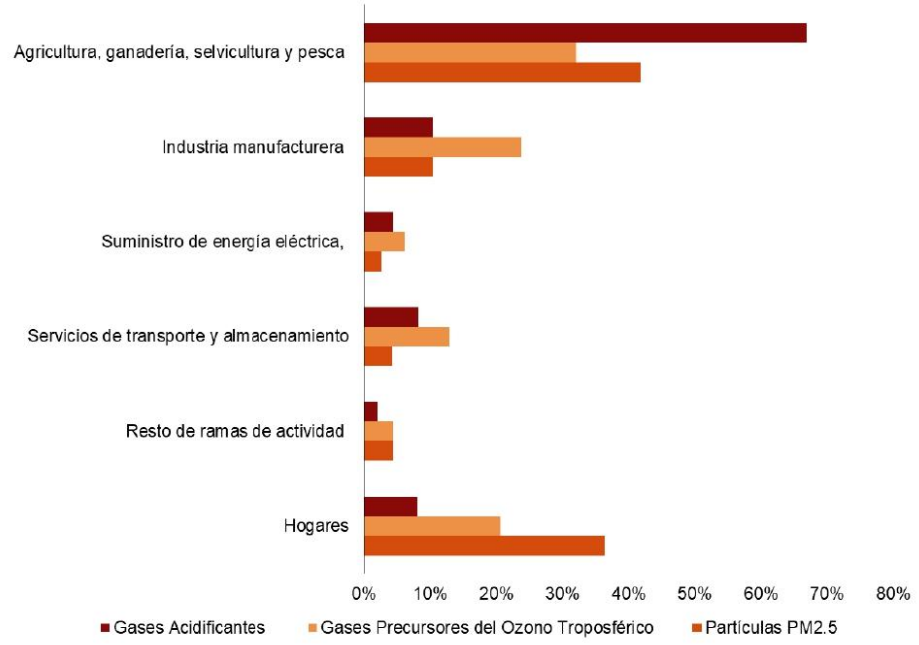
	Gases Acidificantes	Gases Precursores del Ozono	PM2.5
Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca	1.039,9	523,0	51,1
Industria manufacturera	162,4	389,4	12,8
Suministro de energía eléctrica, gas, vapor, aire acondicionado y agua	68,4	100,2	3,2
Servicios de transporte y almacenamiento	127,8	210,4	5,2
Resto de ramas de actividad	30,7	72,5	5,3
Hogares	126,0	337,2	44,3
TOTAL	1.555,2	1.632,7	121,9

[2] Para la agregación de los gases por problemática ambiental se multiplica la masa del gas correspondiente por un factor de cálculo establecido por Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) y Eurostat.

Por su parte, la *Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca* emitió las mayores cantidades de gases precursores del ozono (523,0 miles de toneladas de COVNM equivalentes), seguido por la *Industria manufacturera* (389,4 miles de toneladas).

Las mayores cantidades de emisiones de partículas de diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micras ($PM_{2.5}$) correspondieron a la *Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca* (51,1 miles de toneladas) y a los *Hogares* (44,3).

Emisiones de Contaminantes atmosféricos por ramas de actividad y hogares. Año 2020
Porcentaje



Revisiones y actualización de datos

Los datos publicados hoy son provisionales y se revisarán cuando se difundan los del año próximo.

Cuentas medioambientales. Cuenta de Emisiones a la Atmósfera - Año 2020 (5/6)

Notas de prensa • Instituto Nacional de Estadística

Nota metodológica

La Contabilidad Medioambiental (CMA) tiene como objetivo la integración de la información medioambiental de manera coherente en el sistema central de Cuentas Nacionales. Comprende un conjunto de cuentas satélite, de transmisión anual, elaboradas a partir de formatos contables aplicables a los diferentes ámbitos sectoriales y territoriales, con fuerte presencia de datos físicos. Muestran las interacciones entre la economía, los hogares y los factores medioambientales.

Las Cuenta de emisiones a la atmósfera presentan los datos sobre las emisiones contaminantes a la atmósfera, de manera compatible con el Sistema de Cuentas Nacionales, registrando los agentes emisores desagregados por ramas de actividad económica y hogares como consumidores finales.

Las estimaciones de la Cuenta de emisiones a la atmósfera se realizan a partir de los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera, elaborados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, que utilizan la metodología IPCC y EMEP/EEA, con la nomenclatura NFR/CRF (*Nomenclature for Reporting/Common Reporting Format*), que agrupa las emisiones en sectores, categorías y subcategorías.

Para más información se puede tener acceso a la metodología en:

https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176941&menu=metodologia&idp=1254735976603

Y al informe metodológico estandarizado en:

https://www.ine.es/dynt3/metadatos/es/RespuestaDatos.html?oe=30084

Las estadísticas del INE se elaboran de acuerdo con el Código de Buenas Prácticas de las Estadísticas Europeas, que fundamenta la política y estrategia de calidad de la institución. Para más información, véase la sección de Calidad en el INE y Código de Buenas Prácticas en la página web del INE.

Más información en **INEbase – www.ine.es** Twitter: **@es_ine** Todas las notas de prensa en: **www.ine.es/prensa/prensa.htm**
Gabinete de prensa: **Teléfonos: 91 583 93 63 /94 08 —** gprensa@ine.es
Área de información: **Teléfono: 91 583 91 00 –** www.ine.es/infoine

Nota: INE (2022)

Glosario

ACS: Agua Caliente Sanitaria.

AGE: Administración General del Estado.

AGGI: *Anual Greenhouse Gas Index* (Índice Annual de Gases de Efecto Invernadero).

AIE: Agencia Internacional de la Energía.

AIReF: Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal.

CC.AA.: Comunidades Autónomas.

CH_4: Metano.

CO_2: Dióxido de carbono.

COP: *Conference Of the Parties*, Conferencia de partes.

COVDM: Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano.

DICE: *Dynamic Integrated Climate Economy* (modelo dinámico integrado economía-clima).

EEA: *European Environment Agency* (Agencia Europea del Medioambiente).

ESA: *European Space Agency* (Agencia Espacial Europea).

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

GDP: *Gross Domestic Product* (PIB, en español).

Gj: Giga-julios.

HFC: Hidrofluorocarbono.

IAM: *Integrated Assesment Model* (Modelo de Evaluación Integrado).

ICAP: *International Carbon Action Partnership* (Asociación internacional para la acción por el carbono).

INE: Instituto Nacional de Estadística.

ITVM: Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica.

KTEP: kilotonelada equivalente en petróleo.

LULUCF: land use, land-use change, forestry.

MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

MW: Mega vatios (unidad de potencia).

N_2O: Óxido nitroso.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible.

OMM: Organización Meteorológica Mundial.

PCA: Potencial de Calentamiento Atmosférico.

PHEV: *Plug-in Hybrid Electrical Vehicle* (vehículo híbrido enchufable).

PIB: Producto Interior Bruto.

PIMA: Plan de Impulso al Medioambiente.

PNIEC: Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.

PNCCA: Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica.

RCI: sector residencial-comercial-institucional.

RGGI: *Regional Greenhouse Gas Initative* (Iniciativa Regional de Gases de Efecto Invernadero).

RICE: *Regional Integrated Climate Economy* (modelo regional integrado economía-clima).

RU: Residuos Urbanos.

SAM: *Social Accounting Matrix* (matriz de contabilidad social).

SCC: *Social Carbon Costs*.

SCE: Sistema de Comercio de Emisiones.

TSI: *Total Solar Irradiance* (Irradiación Solar Total).

UE: Unión Europea.

UTCUTS: uso de la tierra, cambio de uso de la tierra, selvicultura.