

ARCA
COMPROMISOS LOCALES
PARA UN DESAFÍO GLOBAL

Informe Técnico

Metodología para estimar objetivos municipales de neutralidad climática basados en presupuestos de carbono y criterios de distribución equitativa

Autores: Brais Suárez-Eiroa, David Soto-Oñate, Víctor J. Sánchez-Juárez

Publicado: Marzo 2025

Última actualización: Octubre 2025

Versión: v20251001

Este informe forma parte del proyecto TED2021-131826A-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y la Unión Europea "NextGenerationEU"/PRTR.

Acerca de este informe

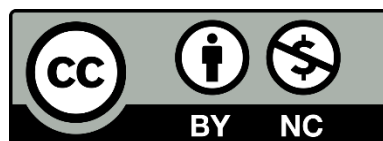
En este informe técnico se describe la metodología utilizada por el Proyecto ARCA para calcular presupuestos de carbono y objetivos climáticos para los municipios españoles. Todos los materiales y metodologías se describen en detalle en el informe.

Esta metodología, que es una versión refinada de Suárez-Eiroa et al. (2022), se basa en métodos de contabilidad de huella de carbono y criterios de distribución justa. Utilizando determinadas asunciones, las estimaciones de esta metodología proporcionan posibles objetivos climáticos basados en ciencia para territorios a diferentes escalas, como por ejemplo el año a ser neutral en carbono. De manera más general, este informe representa una forma técnica de desescalar límites planetarios similares al nivel local.

En general, el proyecto utiliza métodos y bases de datos de última generación para realizar sus cálculos, pero los autores son conscientes de las limitaciones que tienen estos materiales. En consecuencia, este informe técnico podrá ir actualizándose a medida que se disponga de mejores métodos y bases de datos.

Este informe técnico se acompaña de varios archivos con material complementario y que están alojados en el mismo repositorio. Estos archivos contienen todos los datos utilizados para realizar los cálculos.

El informe y sus materiales complementarios se pueden descargar y utilizar bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial (CC-BY-NC).



Cite este informe técnico y/o el material complementario de la siguiente manera:

Suárez-Eiroa, Brais, David Soto-Oñate y Víctor J. Sánchez-Juárez, 2025. Informe Técnico del Proyecto ARCA: Metodología y datos para estimar objetivos municipales de neutralidad climática basados en presupuestos de carbono y criterios de distribución equitativa. Aplicación al caso de los municipios españoles. Versión: v20251001. Disponible en www.arcalocal.es.

Índice

Acerca de este informe.....	i
Índice.....	ii
Lista de figuras.....	iv
Lista de tablas.....	v
Lista de acrónimos	vi
1. Introducción	1
2. Emisiones basadas en el consumo.....	2
2.1. Cálculo de las emisiones basadas en el consumo.....	2
2.2. Explicación del método EEIOA	3
2.2.1. Metodologías híbridas para alcanzar la escala local.....	5
2.3. EXIOBASE: La base de datos MRIO seleccionada.....	6
2.4. Limitaciones actuales y agenda futura	6
2.4.1. ¿Qué implican estas limitaciones para la política?	7
3. Presupuestos globales y emisiones globales	7
3.1. Emisiones globales de GEI	7
3.2. El presupuesto de carbono global.....	8
3.3. Neutralidad de emisiones a escala global: ¿Deberíamos utilizar emisiones brutas o netas?	9
3.4. Limitaciones actuales y agenda futura	11
3.4.1. ¿Qué implican estas limitaciones para la política?	11
4. Presupuestos nacionales y emisiones nacionales	11
4.1. Emisiones españolas de GEI	12
4.2. El presupuesto español de carbono	13
4.3. Neutralidad de emisiones netas en España.....	14
4.4. Limitaciones actuales y agenda futura	15
4.4.1. ¿Qué implican estas limitaciones para la política?	16
5. Presupuestos y emisiones municipales.....	16
5.1. Emisiones municipales de GEI	17
5.1.1. Emisiones de GEI de cada municipio.....	17
5.1.2. Gasto municipal en bienes y servicios	18
5.1.3. Intensidades de GEI de los bienes y servicios.....	19
5.2. Presupuesto municipal de carbono	20
5.3. Estrategia climática municipal	21
5.3.1. Estrategia S1: Cumplimiento del presupuesto de carbono	21

5.3.2. Estrategia S2: <i>Business as usual</i> (seguir como hasta ahora)	22
5.3.3. Estrategia S3: Neutralidad climática en 2050	22
5.4. Discretización y representación	22
5.4.1. Estrategia S1: Cumplimiento del presupuesto.....	23
5.4.2. Estrategia S2: <i>Business as usual</i> (seguir como hasta ahora)	24
5.4.3. Estrategia S3: Neutralidad de carbono en 2050	25
5.5. Panel interactivo para seleccionar diferentes vías de reducción	26
5.5.1. Opción de introducir retardos en la acción climática	27
6. Observaciones finales.....	30
Referencias.....	31
Anexo 1. Reconstrucción de patrones de consumo ante los valores faltantes.....	33
Anexo 2. Ajuste por precios de la vivienda.....	35
Anexo 3. Ajuste por diferencias regionales en impuestos al consumo	36
Anexo 4. Histórico de versiones	39

Lista de figuras

Figura 1. Metodologías para calcular los requerimientos de los hogares, las emisiones y los residuos.....	5
Figura 2. Emisiones globales de GEI de 1990 a 2023	8
Figura 3. Estrategias de reducción lineal para alcanzar el cero neto a nivel mundial en tres escenarios	10
Figura 4. Emisiones de GEI españolas desde 1990 hasta 2024.....	12
Figura 5. Estrategias de reducción lineal para alcanzar la neutralidad neta en España en cinco escenarios	15
Figura 6. Método de estimación de las emisiones y presupuestos municipales de GEI	17
Figura 7. Estrategia 1: senda de reducción hacia la neutralidad cumpliendo el presupuesto de carbono (ejemplo).....	24
Figura 8. Estrategia 2: business as usual (ejemplo)	25
Figura 9. Estrategia 3: senda de reducción hacia la neutralidad en 2050 (ejemplo).....	26
Figura 10. Gráfico interactivo en la plataforma web	27
Figura 11. Gráfico interactivo en la plataforma web: introduciendo dos años de retardo	28

Lista de tablas

Tabla 1. Tabla estándar de Input-Output.....	3
Tabla 2. Presupuesto de carbono global en 2020.....	8
Tabla 3. Presupuesto de carbono global en 15 escenarios diferentes	9
Tabla 4. Los presupuestos de carbono españoles en quince escenarios diferentes.....	13
Tabla 5. Resto de presupuestos de carbono españoles a partir de 2025.....	14

Lista de acrónimos

EEIOA: Environmentally Extended Input-Output Analysis (Análisis Input-Output Medioambientalmente Extendido)

GEI: Emisiones de gases de efecto invernadero

MRIO: Multi-Regional Input Output (Input-Output Multirregional)

IO: Input-Output

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)

UE: Unión Europea

INE: Instituto Nacional de Estadística

LCA: Life-Cycle Assessment (Análisis de Ciclo de Vida)

WIOD: *World Input-Output Database*

GTAP: *Global Trade Analysis Project*

1. Introducción

La época geológica actual, el Holoceno, es un período climáticamente amable que comenzó después de la última edad de hielo, hace 11.700 años. Este es un período muy estable en términos de temperatura, estaciones, contenido de oxígeno en el aire y muchos otros factores meteorológicos que permitieron el florecimiento de la civilización humana. Sin embargo, los mecanismos ecosistémicos que sostenían esa estabilidad están siendo sistemáticamente erosionados por la actividad humana. Se han identificado hasta nueve procesos diferentes de cambio global (por ejemplo, el cambio en el uso de la tierra, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático) que amenazan actualmente las condiciones de vida en el planeta (Richardson et al., 2023). Existe un consenso absoluto en que el cambio climático es uno de los procesos más urgentes y debe abordarse con rapidez. Junto con la pérdida de biodiversidad, el cambio climático tiene el potencial de alterar el ecosistema de la Tierra, haciéndolo pasar del equilibrio actual a uno diferente, con consecuencias enormemente graves. La ciencia ha podido anticipar algunas de esas consecuencias, como el aumento de la temperatura media, derretimiento de los casquetes polares, aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos cada vez más intensos y frecuentes, acidificación de los océanos, alteración de los hábitats, pérdida de biodiversidad, desplazamiento de especies transmisoras de enfermedades hacia otras zonas donde la población no está inmunizada, cambios en las corrientes marinas, etc. Pero más allá de las consecuencias puntuales, el impacto sistémico de cruzar los puntos de inflexión de pilares ecosistémicos clave unido a los bucles causa-efecto generados con otras partes del ecosistema terrestre es en gran medida incierto. Este nivel de incertidumbre no permite decisiones basadas en análisis de coste-beneficio, por lo que el principio de prudencia prescribe el establecimiento de límites firmes a aquellas actividades que inducen cambio climático.

El cambio climático es causado por la liberación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. Las emisiones de gases de efecto invernadero pueden originarse en cualquier punto del planeta y acumularse durante un largo período. Los gases de efecto invernadero que se acumulan en la atmósfera atrapan la radiación que llega a la superficie de la Tierra en la capa atmosférica, calentando gradualmente el planeta. El origen de las emisiones de GEI y los efectos del cambio climático pueden estar muy alejados tanto en el tiempo como en el espacio. Estas características particulares del cambio climático justifican la necesidad de tratar la atmósfera como un recurso común al que todos tienen acceso y cuyo estado afecta a todos.

El objetivo global de mitigación del cambio climático ha consistido en tratar de garantizar que el aumento de la temperatura media global se mantenga por debajo de +1,5°C en comparación con los niveles preindustriales. Sin embargo, este objetivo ya no es fácil de alcanzar y se ha revisado al alza hasta los +2°C. Si un aumento de +1,5°C respecto a los niveles preindustriales tiene graves consecuencias globales para la humanidad (Armstrong McKay et al., 2022), el escenario de +2°C empeora sustancialmente la situación. Además, las proyecciones actuales muestran que las emisiones de gases de efecto invernadero aumentarán la temperatura media en más de +2°C e incluso +3°C (Tollefson, 2021).

Al establecer límites globales, surgen preocupaciones distributivas inmediatas. Si ese objetivo global implica un límite máximo de emisiones de GEI que podemos generar, ¿quién puede emitir cuánto? ¿Cómo vamos a contabilizar las emisiones ya realizadas durante el proceso de desarrollo de las naciones ricas? En este informe, proponemos una metodología de contabilidad y asignación de presupuestos de carbono que puede ser utilizada por las entidades territoriales en el establecimiento de sus acuerdos y compromisos relacionados con el clima.

El informe está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se explica el enfoque de emisiones basadas en el consumo usado en la asignación de responsabilidades de mitigación. En la sección 3 se aborda la noción de límites planetarios y el presupuesto mundial para el cambio climático. En la sección 4 se presenta la metodología utilizada para desescalar los presupuestos globales al nivel nacional y se estima el presupuesto español. En el apartado 5 se describe cómo se asigna el presupuesto nacional a los municipios, cómo se estiman las emisiones municipales y cómo se calculan los senderos de reducción de GEI. El informe concluye con algunas observaciones finales.

2. Emisiones basadas en el consumo

La mitigación del cambio climático suele verse desde una perspectiva territorial. Esto significa que, en la contabilidad de la responsabilidad climática, solo se consideran los GEI emitidos dentro de las fronteras del territorio. Las emisiones territoriales suelen incluir los GEI emitidos por los productores de bienes y servicios, así como las emisiones directas causadas por los consumidores finales dentro del territorio.

Cuando la producción se deslocaliza a otro territorio, el enfoque territorial puede crear la ilusión de que las emisiones de GEI se están reduciendo cuando los mismos patrones de consumo generan emisiones en otros lugares. La deslocalización de GEI, que simplemente desplaza las emisiones al otro lado de la frontera, se contabiliza por el enfoque territorial como si hubiese una reducción de GEI del territorio. Este enfoque no proporciona información completa sobre la contribución de los actores sociales a la actual crisis climática mundial y dificulta la determinación de responsabilidades. En consecuencia, hay actores relevantes pueden evitar fácilmente asumir su parte de responsabilidad en el problema común.

En este sentido, un enfoque basado en el consumo puede ser crucial para hacer frente a la inacción en materia de mitigación del cambio climático. Este enfoque hace que la responsabilidad de mitigar el cambio climático recaiga en el lado del consumo. Las emisiones basadas en el consumo suelen incluir todos los gases de efecto invernadero emitidos en cualquier parte del mundo en la producción, el consumo y la eliminación de bienes y servicios consumidos por una entidad específica.

2.1. Cálculo de las emisiones basadas en el consumo

El método más utilizado para calcular las emisiones basadas en el consumo se basa en Environmentally Extended Input-Output Analysis (EEIOA) y explota las bases de datos Multi-Regional Input-Output (MRIO). Esencialmente, las tablas de Input-Output (IO) vinculan los flujos monetarios de diferentes actividades dentro de una economía. Las tablas MRIO vinculan los flujos de dinero de diferentes actividades entre territorios. Por ejemplo, las tablas MRIO explican cuánto aceite de palma de Indonesia se utiliza para producir chocolates en Suiza. EEIOA combina variables monetarias y ambientales. Siguiendo el mismo ejemplo, EEIOA nos permite atribuir parte de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la producción de aceite de palma indonesio a la producción suiza de chocolate. Por lo tanto, utilizando las tablas EEIOA y MRIO, podemos asignar los impactos ambientales directos de las industrias individuales a aquellas industrias que demandan sus productos (intermedios). Estos impactos terminan vinculándose al consumo de los bienes y servicios correspondientes. Por ejemplo, el

impacto ambiental de la producción de aceite de palma de Indonesia, que se utiliza en la producción de chocolate suizo, se atribuye al consumo de este chocolate. De esta forma, podemos calcular las emisiones generadas en cualquier parte del mundo por el consumo de cualquier agente o territorio.

2.2. Explicación del método EEIOA

El marco analítico Input-Output (IO) tiene como objetivo capturar la interdependencia de las industrias dentro de una economía determinada. Fue desarrollado por primera vez por Wassily Leontief en la década de 1930. En general, la idea del marco analítico IO es reunir la información necesaria en una tabla para visualizar los flujos de productos de un sector a cada uno de los demás sectores, incluido el suyo propio. Más allá de los flujos internos dentro de un país en particular, este marco también pueden incluir cualquier sector en cualquier país del mundo. Además de la relación entre los sectores de una economía determinada (o de varias economías), el marco analítico IO suele incluir: 1) una matriz de demanda final que muestra los flujos de productos de cada sector a los consumidores finales (es decir, hogares, gobiernos e inversiones), 2) una matriz de valor agregado que muestra los beneficios generados por cada sector, así como los salarios ofrecidos, y 3) una matriz tributaria con el dinero que fluye de cada sector al gobierno a través de los impuestos. Como se muestra en la Tabla 1, la cantidad de dinero que un sector genera a través de la venta de bienes y servicios intermedios y finales (x_1 , x_2 , x_3) es igual a la cantidad de dinero que ese sector gasta en la producción de bienes y servicios, más el dinero gastado en salarios e impuestos, y las ganancias generadas.

Tabla 1. Tabla estándar de Input-Output

	Sectors	Intermediate Demand			Final Demand	Total Output
		Agriculture Sector	Manufacturing Sectors	Service Sector		
Domestic Production	Agriculture Sector	z_{11}	z_{12}	z_{13}	f_1	x_1
	Manufacturing Sector	z_{21}	z_{22}	z_{23}	f_2	x_2
	Service Sector	z_{31}	z_{32}	z_{33}	f_3	x_3
Imports		m_1	m_2	m_3	mf	m
Value Added	Profits	π_1	π_2	π_3		π
	Wages	w_1	w_2	w_3		w
Government	Indirect taxes	t_1	t_2	t_3		t
	Total Outlays	x_1	x_2	x_3	f	x

Fuente: Purvis et al. (2023).

El marco IO se puede aplicar para estimar diversas cuestiones económicas, como la brecha salarial de género, el valor agregado en una economía y el impacto de los cambios en la demanda final en una economía determinada. Una aplicación importante del marco de IO es la estimación de las emisiones basadas en el consumo de cada producto/servicio en una economía (di Donato et al., 2015). Esto es posible porque las emisiones directas de un sector determinado pueden asignarse a otros sectores en función de su interdependencia, es decir, la cantidad de producción de un sector que se utiliza para satisfacer la demanda de otro sector. La versión ampliada del marco de IO para

incluir los impactos ambientales se conoce como la metodología de Environmentally Extended Input-Output Analysis (EEIOA). La justificación y las matemáticas que subyacen a los cálculos de las emisiones basadas en el consumo según EEIOA se pueden encontrar en detalle en Purvis et al. (2023). Aquí, sólo mostramos las fórmulas clave que se utilizan en los cálculos.

Como puede verse en la Tabla 1, la producción total (X) es igual a la cantidad total de ventas en el mercado intermedio (Z) más la cantidad total de ventas en el mercado final (Y) (Ec. 1):

$$X = Z + Y \quad [\text{Ec. 1}]$$

A través de algunos cálculos algebraicos simples, podemos escribir la producción total (X) como una variable dependiente de la demanda final (Y) (Ec. 2):

$$X = (I - A)^{-1} Y \text{ con } a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \quad [\text{Eq. 2}]$$

Dado que nuestro objetivo es calcular el impacto ambiental, en lugar de buscar X, es decir, la producción económica total, deberíamos buscar E, es decir, el impacto ambiental total. Si multiplicamos ambos lados de la ecuación por una matriz que contenga las emisiones directas de cada sector e podemos estimar el impacto ambiental total (Ec. 3):

$$E = e (I - A)^{-1} Y \text{ con } a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \quad [\text{Ec. 3}]$$

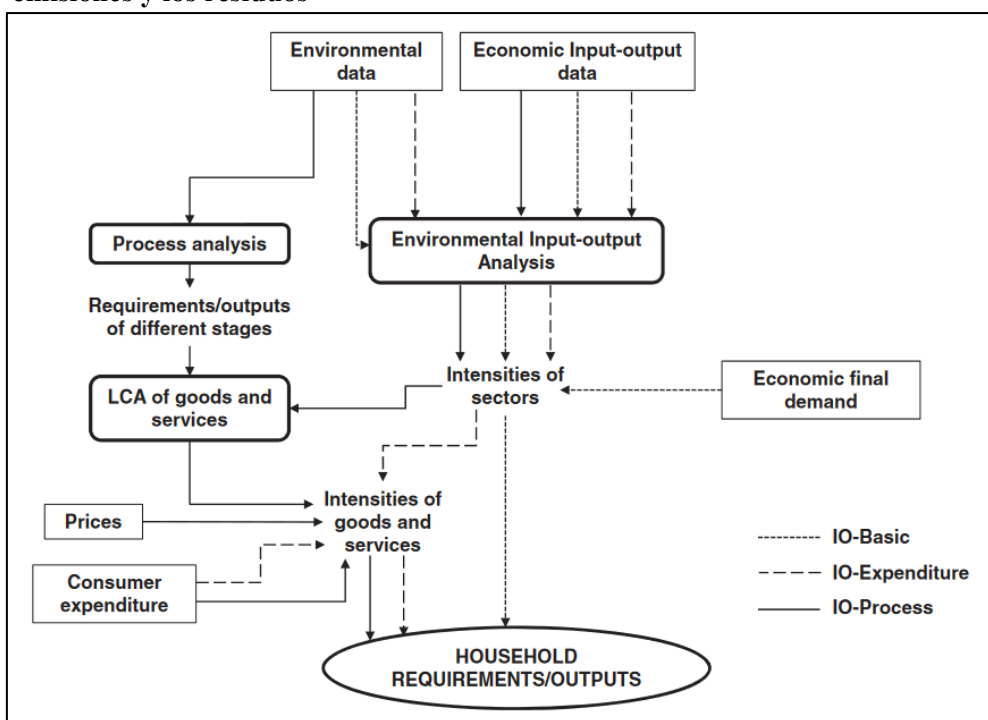
Si se dispone de una tabla Multi-Regional Input-Output (MRIO), es decir, si se conocen los flujos de productos entre los sectores de diferentes países, se pueden imputar los impactos ambientales directos de un sector extranjero a un sector nacional desde una perspectiva basada en el consumo y viceversa. En cualquier caso, la cantidad total de gases de efecto invernadero debe coincidir, independientemente de si utilizamos un enfoque territorial o basado en el consumo. En otras palabras, las emisiones globales siguen siendo las mismas independientemente de si asignamos las emisiones de gases de efecto invernadero desde una perspectiva territorial o basada en el consumo. Por lo tanto, al utilizar las bases de datos MRIO, el marco EEIOA produce una imagen completa donde podemos ver los impactos directos de los sectores en todo el mundo, los impactos de cada sector después de redistribuir los impactos directos, los impactos de un país desde una perspectiva territorial y/o basada en el consumo, etc. Sin embargo, esto sólo es posible si conocemos las relaciones entre todos los sectores involucrados, lo que normalmente se hace a nivel nacional en la base de datos MRIO. Por otra parte, las bases de datos MRIO no suelen contener información sectorial a nivel regional y local. Dado que no conocemos la relación entre un sector, por ejemplo en Galicia, con el resto de sectores domésticos en España, ni con el resto de sectores del mundo, no podemos estimar las emisiones basadas en el consumo de sectores y productos específicos dentro de esa región/municipio. Afortunadamente, contamos con metodologías híbridas que nos permiten realizar este tipo de cálculos.

2.2.1. Metodologías híbridas para alcanzar la escala local

Se utilizan metodologías híbridas para complementar el método EEIOA, que es básicamente un método de arriba hacia abajo (top-down). Los métodos descendentes funcionan a nivel macro (por ejemplo, a nivel nacional) y bajan al nivel micro (por ejemplo, a nivel de producto). Por ejemplo, podríamos conocer los flujos de dinero entre el sector manufacturero en España y el sector de las telecomunicaciones en Alemania y el impacto directo de ambos sectores. A nivel macro, es decir, a nivel nacional, podemos estimar las emisiones españolas o alemanas. También podemos estimar los impactos relacionados con el consumo del sector de las telecomunicaciones alemán. Por contra, con estos datos limitados no podemos calcular los impactos ambientales asociados al consumo de teléfonos móviles, ya que las bases de datos MRIO actuales no tienen dicha resolución. Tampoco podemos calcular los impactos relacionados con el consumo del sector de las telecomunicaciones en una región alemana específica. En estos casos, tenemos que utilizar un método híbrido.

Los métodos híbridos tienen por objeto aunar enfoques descendentes (es decir, EEIOA) y ascendentes (es decir, métodos basados en el gasto y de evaluación del ciclo de vida). La Figura 1 muestra tres opciones diferentes: IO Básico, IO Gasto y IO Proceso. IO Básico se refiere a la aplicación directa de EEIOA, por ejemplo, para estimar el impacto ambiental de los hogares de un país. El IO Proceso se refiere a la combinación de EEIOA y análisis del ciclo de vida. Este método tiene como objetivo estimar las intensidades ambientales (impactos por unidad monetaria) combinando EEIOA y análisis de ciclo de vida. Al multiplicar estas intensidades por el gasto de los hogares en cada bien y servicio, se puede estimar el impacto ambiental de estos hogares. El IO Gasto es similar al IO Proceso, pero la intensidad ambiental de cada bien y servicio se estima utilizando datos de EEIOA y gastos. Esta es la solución que utilizamos y el método se explica con más detalle en la sección 5.

Figura 1. Metodologías para calcular los requerimientos de los hogares, las emisiones y los residuos



Fuente: di Donato et al. (2015).

2.3. EXIOBASE: La base de datos MRIO seleccionada

Las bases de datos multirregionales de Input-Output (MRIO) representan un enfoque sofisticado y completo para el análisis económico al capturar las interdependencias entre diferentes regiones o países dentro de un sistema económico global. A diferencia de las tablas input-output tradicionales que se centran en las actividades económicas de una sola región, las bases de datos MRIO proporcionan una perspectiva más matizada al incorporar datos de múltiples regiones. Estas bases de datos permiten a los investigadores, los responsables de la formulación de políticas y las empresas evaluar la compleja red de relaciones económicas a través de las fronteras y proporcionar una imagen más precisa de la interconexión de las economías mundiales. Al integrar información sobre patrones de producción, consumo y comercio entre diferentes regiones, las bases de datos MRIO facilitan el estudio de los impactos ambientales, sociales y económicos asociados con toda la cadena de suministro de bienes y servicios.

Existen varias bases de datos MRIO, cada una adaptada a necesidades y consideraciones específicas y que refleja las diferentes metodologías y fuentes de datos utilizadas en su creación (Moran y Wood, 2014). Un ejemplo bien conocido es la *World Input-Output Database* (WIOD), un esfuerzo de colaboración que recopila datos económicos de múltiples países y regiones y proporciona una imagen detallada de los vínculos mundiales entre la producción y el comercio. La base de datos del *Global Trade Analysis Project* (GTAP) es otro recurso MRIO ampliamente utilizado que proporciona una imagen completa de los flujos comerciales mundiales y las interacciones económicas. Además, la base de datos Eora pone especial énfasis en las extensiones ambientales e incorpora indicadores ambientales y sociales en el análisis para tener en cuenta los aspectos de sostenibilidad. Cada una de estas bases de datos tiene su propio enfoque y fortalezas, y es adecuada para diferentes preguntas de investigación y aplicaciones políticas. Investigadores y responsables políticos pueden elegir la base de datos MRIO que se adapte a los aspectos específicos de economía mundial que deseen analizar, ya sean dinámicas de comercio, impactos ambientales o vínculos económicos más amplios.

En nuestro caso, utilizaremos la base de datos EXIOBASE, concretamente la versión 3.8.1 (Stadler et al., 2021). EXIOBASE está considerado como un MRIO robusto y versátil con varias fortalezas notables. Una ventaja clave es la cobertura de una amplia gama de sectores y regiones, lo que permite un análisis exhaustivo de las interdependencias económicas mundiales. La profundidad temporal de la base de datos y sus actualizaciones periódicas garantizan que los usuarios tengan acceso a la información más actualizada y relevante. EXIOBASE se caracteriza por la inclusión de extensiones ambientales que proporcionan datos detallados sobre el consumo de recursos, emisiones y otros indicadores ecológicos. EXIOBASE también utiliza una metodología armonizada y transparente que promueve la coherencia y la comparabilidad entre las diferentes regiones y sectores. Los investigadores y los responsables de la formulación de políticas se benefician de este enfoque normalizado, ya que permite realizar comparaciones transfronterizas más fiables y facilita la identificación de tendencias mundiales.

2.4. Limitaciones actuales y agenda futura

Aunque EXIOBASE es una herramienta poderosa para analizar las interdependencias globales, también tiene sus debilidades y limitaciones. Una limitación notable son las simplificaciones y asunciones inherentes incorporadas en el marco de Input-Output. La base de datos se basa en datos agregados, lo cual puede oscurecer detalles más sutiles y variaciones dentro de sectores y regiones. Además, el uso de tablas de Input-Output supone relaciones de producción fijas, lo que

pasa por alto la posibilidad de que se produzcan cambios dinámicos en la tecnología, las pautas comerciales y las preferencias de los consumidores a lo largo del tiempo. Otra limitación es la resolución espacial y temporal de EXIOBASE. Si bien abarca una amplia gama de sectores y regiones, el nivel de detalle puede no ser suficiente para realizar análisis localizados o captar dinámicas económicas que cambian rápidamente. Los usuarios deben ser conscientes de que la base de datos puede no reflejar plenamente las complejidades de las estructuras económicas regionales o las tendencias emergentes a un nivel granular. Además, al igual que muchas bases de datos MRIO, EXIOBASE se basa en datos de múltiples fuentes, lo que genera incertidumbres y posibles incoherencias. Las lagunas o inexactitudes de los datos en las estadísticas nacionales subyacentes pueden afectar a la fiabilidad de los resultados generados por la base de datos. En términos de extensiones ambientales, si bien EXIOBASE proporciona información valiosa sobre el uso de los recursos y las emisiones, es posible que no capture toda la complejidad de los impactos ambientales asociados con la producción y el consumo globales. Ciertos procesos ambientales pueden estar demasiado simplificados o inadecuadamente representados.

2.4.1. ¿Qué implican estas limitaciones para la política?

A pesar de las limitaciones descritas en los párrafos anteriores, es importante señalar que la EEIOA, junto con las bases de datos MRIO actualmente disponibles, proporciona resultados que pueden utilizarse directamente para la acción política y social. Si bien es cierto que las emisiones basadas en el consumo pueden refinarse de muchas maneras, los resultados "aproximados" actuales arrojan suficiente luz sobre la responsabilidad de los actores individuales en las emisiones de gases de efecto invernadero. En consecuencia, las posibles limitaciones de los materiales y métodos actualmente disponibles no justifican la inacción política. Al contrario, los resultados que se mostrarán deberían motivar a los actores a tomar medidas para mitigar el cambio climático.

3. Presupuestos globales y emisiones globales

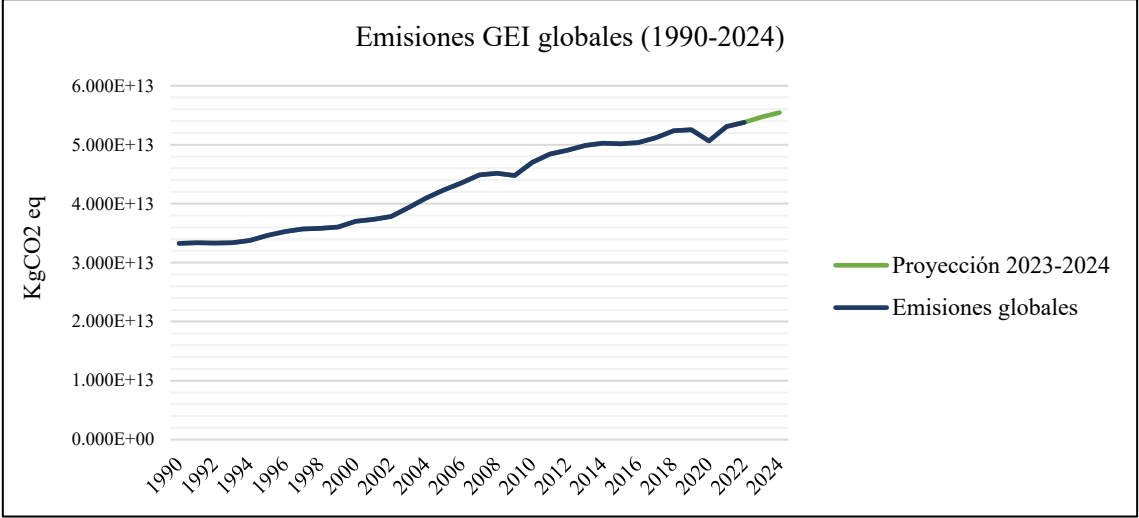
Para que el cambio climático se mantenga bajo control, las emisiones acumuladas deben permanecer por debajo de un determinado presupuesto. El IPCC (2021) ha fijado este presupuesto en 300 GtCO₂-eq para el objetivo de +1,5°C, 550 GtCO₂-eq para el objetivo de +1,7°C y 900 GtCO₂-eq para el objetivo de +2°C a principios de 2020 y con una probabilidad del 83%. En esta sección, presentamos el cálculo de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y el presupuesto global de carbono para diferentes años base. Los cálculos detallados se pueden encontrar en el archivo de la hoja de cálculo *Presupuestos_Global_Espana.xlsx*.

3.1. Emisiones globales de GEI

Se utilizaron dos fuentes principales para calcular las emisiones globales de gases de efecto invernadero desde 1850 hasta 2023. En primer lugar, tomamos los datos de 1990 a 2022 de Crippa et al. (2023). En el momento de redactar este informe, los datos de 2024 aún no están disponibles. Hemos estimado las emisiones de gases de efecto invernadero en 2023 y 2024 basándonos en la tendencia lineal entre 1990 y 2022. Esta hipótesis es consistente con las proyecciones actuales, que estiman un aumento de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero en 2024

(Crippa et al., 2023). Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero entre 1990 y 2024 se muestran en la Figura 2. A continuación, calculamos las emisiones históricas entre 1850 y 1989 restando las emisiones previamente calculadas entre 1990 y 2019 de las emisiones acumuladas entre 1850 y 2019 en IPCC (2021). Las emisiones históricas (1850-1989) se estimaron en 1131 GtCO₂-eq, lo que corresponde al 44% del total de las emisiones acumuladas entre 1850 y 2022.

Figura 2. Emisiones globales de GEI de 1990 a 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Crippa et al. (2023).

3.2. El presupuesto de carbono global

Hemos estimado varios presupuestos mundiales de acuerdo a cinco años base diferentes (1850, 1990, 2000, 2015 y 2025) y tres objetivos diferentes para limitar el aumento de la temperatura media mundial (+1,5 °C, +1,7 °C y +2 °C). Las combinaciones dan como resultado 15 escenarios diferentes¹. Por ejemplo, un escenario podría apuntar a limitar el aumento de la temperatura en +1,5°C y tomar 1990 como año base para realizar los cálculos.

Tabla 2. Presupuesto de carbono global en 2020

Límite de temperatura (°C)	Presupuestos de carbono restantes estimados desde principios de 2020 (GtCO ₂ -eq)				
	Probabilidad de limitar el calentamiento global al límite de temperatura				
	17%	33%	50%	67%	83%
+1,5°C	900	650	500	400	300
+1,7°C	1450	1050	850	700	550
+2°C	2300	1700	1350	1150	900

Fuente: IPCC (2021).

¹ Más adelante, incluiremos una dimensión más con tres opciones. Así que finalmente las combinaciones darán como resultado 45 escenarios.

La fuente más importante para calcular los presupuestos globales de carbono es el último informe del IPCC (2021). Los presupuestos de carbono restantes de principios de 2020 se muestran en la Tabla 2. En este informe, utilizamos los presupuestos de carbono con una probabilidad del 83% de limitar el calentamiento global al límite de temperatura, es decir, 300 GtCO₂-eq para el objetivo de +1,5°C, 550 GtCO₂-eq para el objetivo de +1,7°C y 900 GtCO₂-eq para el objetivo de +2°C. También es importante tener en cuenta que estos valores pueden variar en un estimado de ± 220 GtCO₂-eq. Por simplicidad, no tendremos en cuenta estas variaciones en los siguientes cálculos.

Utilizamos estos valores para estimar el presupuesto en los 15 escenarios. Al agregar las emisiones globales pasadas al presupuesto en 2020, podemos estimar el presupuesto global de carbono en diferentes momentos de la historia. Por ejemplo, para calcular el presupuesto global de carbono en 1990 para un límite de +1,5°C, sumamos el presupuesto de carbono de 300 GtCO₂-eq y las emisiones globales acumuladas desde 1990 hasta 2019. Los resultados de los 15 escenarios se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Presupuesto de carbono global en 15 escenarios diferentes

Año base	Límite de temperatura		
	1,5°C	1,7°C	2°C
1850	2690	2940	3290
1990	1559	1809	2159
2000	1214	1464	1814
2015	557	807	1157
2025	32	282	632

Notas: Los datos se presentan en GtCO₂ eq. Cálculos propios basados en IPCC (2021) y Crippa et al. (2023).

3.3. Neutralidad de emisiones a escala global: ¿Deberíamos utilizar emisiones brutas o netas?

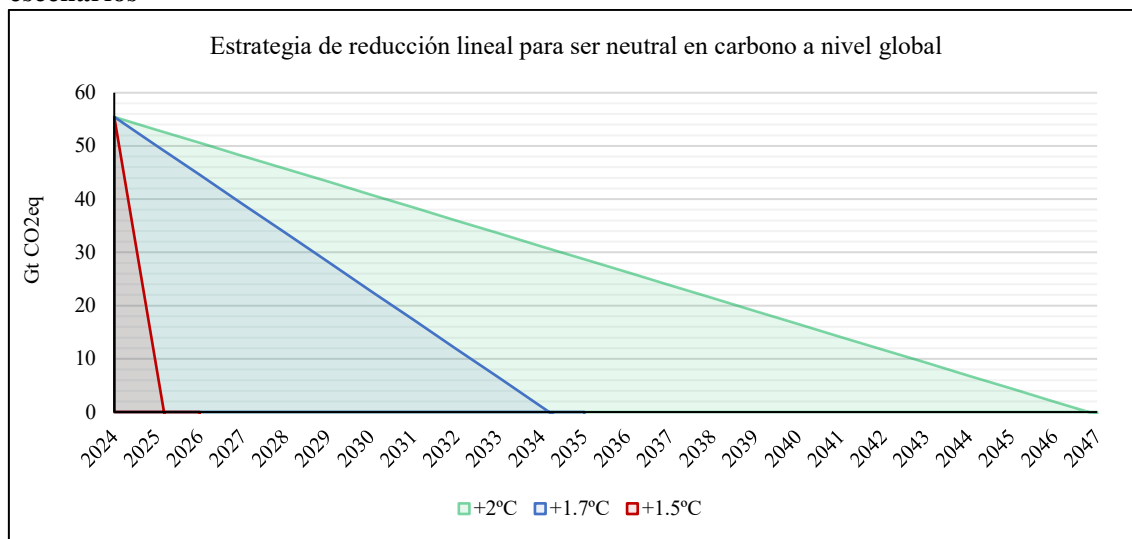
Las emisiones *brutas* se refieren a las emisiones de gases de efecto invernadero liberadas a la atmósfera. Las emisiones *netas* se refieren a estas emisiones menos el carbono que se captura y almacena. La neutralidad de carbono significaría que todas las emisiones brutas de GEI son absorbidas por sumideros biológicos de carbono y tecnologías de captura de carbono. Las dificultades asoman cuando hay que definir estos tres términos en detalle. Las emisiones brutas pueden referirse a los GEI antropogénicos o a todos los GEI (incluidas las fuentes naturales) liberados a la atmósfera. Las emisiones netas pueden estimarse teniendo en cuenta los sumideros de carbono naturales existentes o sólo los sumideros de carbono artificiales. Y la neutralidad de carbono puede ser el resultado de una combinación de diferentes enfoques de emisiones brutas y netas.

Este informe técnico y los cálculos que contiene se fundamentan en los informes del IPCC. Los cálculos del IPCC y su concepto de neutralidad de carbono se centran en las emisiones y absorciones antropogénicas: "Net zero CO₂ emissions describes a situation in which all the anthropogenic emissions of CO₂ are counterbalanced by deliberate anthropogenic removals so that on average no CO₂ is added or removed from the atmosphere by human activities" (IPCC, 2021). Esto significa que el bosque existente no debe utilizarse para estimar las emisiones netas. Y ésta no es una cuestión sin importancia, porque limita la capacidad de los territorios para compensar sus emisiones brutas y alcanzar el objetivo de neutralidad de emisiones netas. En

consecuencia, los presupuestos de carbono en el informe del IPCC (2021) también se refieren a las emisiones y absorciones antropogénicas: "the total net amount of carbon dioxide (CO₂) that can still be emitted by human activities while limiting global warming to a specified level (e.g., 1.5°C or 2°C above pre-industrial levels)" (IPCC, 2021, p. 5).

Por el contrario, las emisiones netas suelen calcularse teniendo en cuenta los sumideros de carbono existentes (por ejemplo, los bosques existentes o las zonas cultivadas por los seres humanos) (Comisión Europea, 2021). Sin embargo, el uso de sumideros biológicos de carbono antropogénicos (por ejemplo, bosques forestados) también puede ser problemático, principalmente porque es difícil garantizar que estos bosques no sean talados en el futuro o que no se produzca un incendio. Además, los sumideros antropogénicos de carbono son prácticamente inexistentes en la actualidad. Esto significaría que las emisiones brutas (antropogénicas) son esencialmente las mismas que las emisiones netas (antropogénicas).

Figura 3. Estrategias de reducción lineal para alcanzar el cero neto a nivel mundial en tres escenarios



Notas: Cálculos propios basados en IPCC (2021) y Crippa et al. (2023).

En línea con el IPCC, este informe técnico considera que es mejor que los presupuestos climáticos vengan expresados en emisiones antropogénicas brutas. Sin embargo, esto no significa que las estrategias de mitigación del cambio climático excluyan la mejora de los sumideros biológicos de carbono y las tecnologías de eliminación de carbono. A modo de ejemplo, hemos estimado el año en el que seríamos neutros en carbono a nivel global bajo una estrategia lineal de mitigación del cambio climático en tres escenarios diferentes (Figura 3). Los resultados muestran que limitar el aumento de la temperatura a +1,5 °C significaría que deberíamos ser neutros en carbono en 2026, limitar el aumento de la temperatura a +1,7 °C significaría que deberíamos ser neutros en carbono en 2036, y limitar el aumento de la temperatura a +2 °C significaría que deberíamos ser neutros en carbono en 2048. A partir de ahora, la reducción anual requerida de las emisiones de gases de efecto invernadero podría lograrse mediante una reducción directa de las emisiones o un aumento del secuestro de carbono.

3.4. Limitaciones actuales y agenda futura

La estimación de los presupuestos de carbono es una tarea compleja con limitaciones inherentes. Por ejemplo, la estimación del presupuesto de carbono global depende de varios factores, incluida la compleja influencia de los gases distintos al CO₂, lo que dificulta la obtención de cifras precisas. La naturaleza complicada de estos gases, junto con la incertidumbre sobre su desarrollo futuro, hace que todo el proceso de estimación sea aún más complejo. En segundo lugar, las discrepancias entre bases de datos como EXIOBASE, IPCC, Climate Watch y Crippa et al. (2023) conducen a diferencias en los presupuestos de carbono reportados. Estas discrepancias pueden deberse a diferentes fuentes de datos, métodos y asunciones. Además, la dificultad de estimar con precisión las emisiones pasadas complica aún más la determinación fiable de un presupuesto de carbono. Las lagunas en los datos históricos, las incertidumbres en la medición y factores de emisión cambiantes contribuyen a la dificultad de reconstruir perfiles de emisión precisos. Por último, la incertidumbre en la sensibilidad climática representa una limitación importante, ya que la respuesta de la Tierra a un aumento del dióxido de carbono atmosférico sigue siendo hasta cierto punto desconocida, lo que afecta a la precisión de las proyecciones de temperatura futuras. Al abordar estas complejidades, es esencial abordar las estimaciones del presupuesto de carbono con cautela, reconociendo la naturaleza multifacética del sistema climático y las diversas fuentes de incertidumbre asociadas con el proceso de estimación.

3.4.1. ¿Qué implican estas limitaciones para la política?

Como se explicó anteriormente, las limitaciones actuales de los datos y métodos disponibles no justifican la inacción. Mediante un sencillo análisis de sensibilidad podemos comprobar qué pasaría si recurriésemos a fuentes de datos distintas. En general, los resultados muestran que las desviaciones no son significativas desde el punto de vista político y social.

Por ejemplo, si importáramos los datos de emisiones de GEI de 1990 a 2020 de la base de datos de Climate Watch (2023) en lugar de calcularlos a partir de Crippa et al. (2023), el año en el que seríamos (globalmente) neutros en carbono sería el mismo en los tres escenarios. Pero incluso si hubiera una desviación de varios años, teniendo en cuenta la escala de cambio social necesaria para alcanzar la neutralidad neta a mediados de siglo, esta diferencia de años no sería un factor muy relevante. Del mismo modo, teniendo en cuenta las posibles desviaciones debidas al error en la estimación de los presupuestos de carbono (± 220 GtCO₂ eq), la fecha de la neutralidad podría variar (al alza o a la baja) algunos años. Sin embargo, las posibles desviaciones no representan cambios significativos en comparación con la magnitud de los esfuerzos sociopolíticos de transformación requeridos. Esta magnitud hace imposible estimar los años exactos necesarios para completar una estrategia perfecta de mitigación hasta la neutralidad.

4. Presupuestos nacionales y emisiones nacionales

Una vez que conocemos los presupuestos globales de carbono para limitar el aumento de la temperatura a +1,5 °C, +1,7 °C y +2 °C, ahora se pueden distribuir entre diferentes territorios y actores sociales. En esta sección desescalamos el presupuesto de carbono global a nivel nacional, estableciendo así un objetivo común para todos los actores sociales dentro del territorio español. Los cálculos detallados se pueden encontrar en el archivo de hoja de cálculo *Presupuestos_Global_Espana.xlsx*.

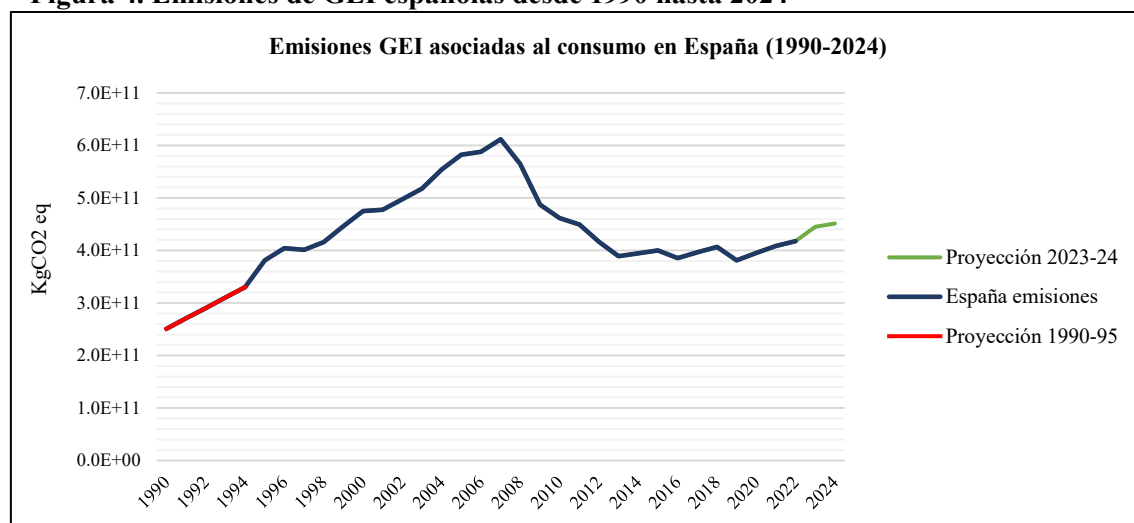
4.1. Emisiones españolas de GEI

Se utilizaron dos fuentes principales para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero españolas desde 1850 hasta 2022. En primer lugar, para el periodo 1995-2022, ejecutamos EEIOA con la base de datos EXIOBASE 3.8.2 y calculamos las emisiones españolas. Los resultados muestran que hay un claro pico en 2007: hay un incremento de las emisiones de 1995 a 2007 y una contracción posterior. Este pico ya ha sido analizado en la literatura a nivel europeo (Wood et al., 2020). Como se muestra en la Figura 4, podemos distinguir tres tendencias principales en la curva:

- Régimen creciente: de 1995 a 2007.
- Régimen decreciente: de 2007 a 2013.
- Régimen de estabilización: de 2013 a 2022.

A partir de estas tendencias, estimamos los años restantes para completar el periodo 1990-2024. Por un lado, extrapolamos los datos de 1990 a 1994 utilizando una tendencia lineal entre 1995 y 2007. Por otro lado, extrapolamos los datos a 2023 y 2024 utilizando la tendencia lineal entre 2013 y 2022. Los resultados, en la Figura 4, representan las emisiones brutas en España, que están compuestas por emisiones directas e indirectas. Las extrapolaciones de emisiones directas e indirectas se realizaron por separado y luego se sumaron para hallar las emisiones totales de España en los periodos 1990-1994 y 2023-2024.

Figura 4. Emisiones de GEI españolas desde 1990 hasta 2024



Notas: Cálculos propios basados en EXIOBASE 3.8.2.

Finalmente, se calcularon las emisiones históricas entre 1850 y 1989 a partir de los datos proporcionados por Hickel (2020). Para armonizar las diferentes bases de datos, no se utilizaron directamente las emisiones históricas proporcionadas en Hickel (2020), sino el porcentaje de la contribución española a esas emisiones históricas. Las emisiones históricas españolas (1850-1989) se estimaron en 10,8 GtCO₂-eq, lo que representa el 46% del total de emisiones acumuladas entre 1850 y 2024.

4.2. El presupuesto español de carbono

Hemos estimado los presupuestos de carbono españoles para los 15 escenarios presentados en la Sección 3. En la literatura se proponen varios métodos para desescalar los presupuestos de carbono globales al nivel nacional (Dao et al., 2018; Fanning y O'Neill, 2016; Nykvist et al., 2013). Aquí, nos basamos en el método propuesto por Suárez-Eiroa et al. (2022), que se presenta en la Ec. 4:

$$B^{España} = \frac{\sum_{Año\ base}^{Año\ final} p^{España}}{\sum_{Año\ base}^{Año\ final} p^{Global}} \times B_{Año\ base}^{Global} \quad [Ec. 4]$$

Dónde:

$B^{España}$ es el presupuesto asignado a España, $p^{España}$ es la población española, p^{Global} es la población mundial² y B^{Global} es el presupuesto mundial. Por lo tanto, este método aplica una distribución per cápita con consideración temporal. El presupuesto resultante para España podría consumirse entre el año base y el último año, considerado aquí como 2050. Esta fecha es el plazo más aceptado para alcanzar la neutralidad de carbono a nivel mundial. A partir de los presupuestos globales mostrados en la Tabla 3, se han calculado los presupuestos españoles para los 15 escenarios (Tabla 4).

Tabla 4. Los presupuestos de carbono españoles en quince escenarios diferentes

Año base	Límite de temperatura		
	1,5°C	1,7°C	2°C
1850	5358	5855	6553
1990	9072	10527	12564
2000	6875	8290	10271
2015	2981	4320	6195
2025	166	1447	3242

Notas: Los datos se presentan en MtCO₂-eq. Cálculos propios.

A continuación, estimamos el presupuesto de carbono restante a partir de t . Esencialmente, esto implica restar del presupuesto de carbono las emisiones acumuladas desde el año base hasta t . Para ello, hemos aplicado la Ec. 5:

$$B_t^{España} = B_{Año\ base}^{España} - \sum_{Año\ base}^{Año\ actual} E_t^{SPAIN} \quad [Ec. 5]$$

² Tanto los datos de población española como los mundiales se basan en dos fuentes principales. Los datos de 1850 a 1949 han sido extraídos de Gapminder (2023) y de 1950 a 2100 (incluidas las proyecciones de 2025 a 2100) se han extraído de la ONU (2022).

Dónde:

B_t^{SPAIN} es el presupuesto restante en España en el momento t , $B_{Año\ base}^{SPAIN}$ es el presupuesto inicial asignado a España considerando un año base en particular, y E_t^{SPAIN} son las emisiones españolas de GEI desde una perspectiva basada en el consumo en el período t . Los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resto de presupuestos de carbono españoles a partir de 2025

Año base	Límite de temperatura		
	1,5°C	1,7°C	2°C
1850	-22137	-21639	-20942
1990	-5984	-4529	-2492
2000	-4680	-3265	-1283
2015	-1107	232	2106
2025	166	1447	3242

Notas: Los datos se presentan en MtCO₂-eq. Cálculos propios.

Los resultados muestran que España ha emitido más de lo que le corresponde en el presupuesto global en diez de los quince escenarios. Por ejemplo, con 1850 como año base, España ya ha consumido 4,2 veces su presupuesto en 2025 si el calentamiento global se limita a +2°C y 5.1 veces si se limita a +1,5°C. Pero incluso si el presupuesto se asignara en el año del Acuerdo de París (es decir, con 2015 como año base), España ya habría utilizado 1,4 veces su presupuesto en 2025 para un límite de +1,5°C. En consecuencia, solo hay cinco escenarios (nociones de responsabilidad) en los que España todavía tiene margen para ceñirse a su presupuesto: (i) límite de 1,7°C con 2015 como año base, (ii) límite de +2°C con 2015 como año base, (iii) límite de +1,5°C con 2024 como año base, (iv) límite de +1,7°C con 2024 como año base y (v) límite de +2°C con 2023 como año base. Estos son los cinco escenarios que analizaremos en los siguientes apartados.

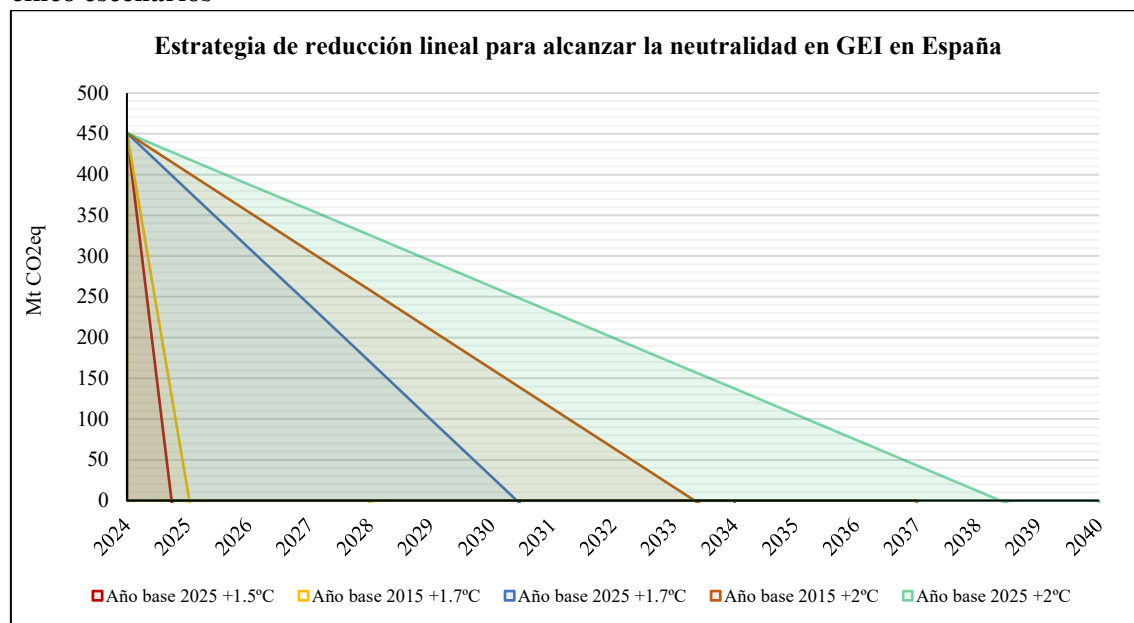
4.3. Neutralidad de emisiones netas en España

Hemos estimado el año en el que España será neutra en carbono siguiendo una estrategia de reducción lineal (Figura 5).

Los resultados muestran que mantener el aumento de la temperatura por debajo de +1,5°C supondría alcanzar la neutralidad de carbono en 2025, lo que es prácticamente imposible. El objetivo más factible es el escenario que toma 2025 como año base y pretende mantener el aumento de la temperatura por debajo de +2°C, lo que supondría ser neutros en carbono en 2039. Como ya hemos señalado, la reducción anual requerida de las emisiones de gases de efecto invernadero podría provenir de una reducción directa de las emisiones o de un aumento humano del secuestro de carbono. El resto de los escenarios se sitúan entre estas dos posibilidades. Por lo tanto, podemos concluir que incluso en el escenario más relajado (límite de +2°C con 2025 como año base), España deberá aumentar significativamente sus esfuerzos para cumplir con su responsabilidad de mitigar el cambio climático. Otra forma de leer la Figura 5 es que exceder los años clave para lograr la neutralidad de carbono significa que el país ya no puede cumplir con su parte de la meta climática global. Por lo tanto, llegar a 2026 sin ser neutro en carbono significa que España no puede cumplir con su parte justa del trabajo de limitar el aumento de la temperatura

a +1,5°C. Del mismo modo, llegar a 2030 sin ser neutro en carbono significa que España no puede hacer su parte para mantener el aumento de temperatura por debajo de +1,7°C. A partir de ese momento, la nación comenzaría a acumular una virtual "deuda climática" con cada gramo adicional de GEI emitido.

Figura 5. Estrategias de reducción lineal para alcanzar la neutralidad neta en España en cinco escenarios



Notas: Cálculos propios.

4.4. Limitaciones actuales y agenda futura

Los cálculos relativos a los presupuestos de carbono para España y las emisiones de GEI desde 1850 hasta 2025 encuentran varias limitaciones inherentes. En primer lugar, el hecho de basarse en las proyecciones demográficas introduce un elemento de incertidumbre en los cálculos, ya que estas proyecciones son estimaciones basadas en diversos supuestos sobre tasas de natalidad, tasas de mortalidad y patrones de migración. Estas incertidumbres demográficas pueden afectar significativamente a la precisión de los cálculos de emisiones, que son un componente crítico para estimar el presupuesto de carbono restante.

Además, el período comprendido entre 1850 y 2024 también supone un reto debido a la disponibilidad y fiabilidad de los datos. La estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero de años anteriores se basa en registros históricos y aproximaciones, lo que introduce riesgos de errores relacionados con la incompletitud y la posible inexactitud de los datos disponibles. Para aquellos años para los que no se dispone de datos directos de emisiones, la necesidad de estimar las emisiones de GEI españolas introduce un nuevo nivel de incertidumbre. Estas limitaciones refuerzan la importancia de interpretar los resultados tomando en consideración las incertidumbres y asunciones inherentes asociadas a estas evaluaciones históricas de largo plazo.

4.4.1. ¿Qué implican estas limitaciones para la política?

A pesar de estos desafíos, estas serie de cálculos proporcionan información valiosa sobre la trayectoria de las emisiones y el presupuesto de carbono en España y forman una base para políticas climáticas informadas y estrategias de mitigación.

Llevamos a cabo un análisis de sensibilidad (no mostrado aquí) para confirmar que los resultados son suficientemente consistentes como para respaldar la acción política y social en la mitigación del cambio climático. En primer lugar, probamos qué sucede si la población española crece un 20% por encima de los niveles actuales esperados. Esto significaría que el presupuesto asignado a España sería mayor que el considerado. Los resultados muestran que un cambio del 20% en la proyección de la población española extendería el año objetivo de neutralidad climática en 2 años. A continuación, probamos qué ocurre si resulta que las emisiones anuales de gases de efecto invernadero de España son un 20% inferiores a las estimaciones actuales. Esto supondría que el presupuesto asignado a España se consumiría más lentamente, ampliando en 3 años el año objetivo de neutralidad climática. Por lo tanto, incluso con desviaciones sustanciales en los datos utilizados para los cálculos, los resultados no sufren alteraciones relevantes. En conclusión, la incertidumbre de los datos no es una excusa razonable para justificar la inacción.

5. Presupuestos y emisiones municipales

La estimación de las emisiones de GEI y de los presupuestos a nivel local puede suponer un gran desafío, especialmente si las estimaciones deben cubrir todos los municipios simultáneamente. En tal caso, como ya se ha presentado en la sección 3, tenemos al menos tres opciones: IO Básica, IO Proceso e IO Gasto. Sobre la base de los datos disponibles, utilizaremos esta última opción en este informe. El método utilizado se resume en la Figura 6.

En resumen, para estimar las emisiones y presupuestos municipales de GEI, seguimos los siguientes pasos.

En primer lugar, aplicamos EEIOA a la base de datos EXIOBASE, concretamente a la versión 3.8.2. Con base en los resultados obtenidos, se calcularon las intensidades de GEI³ de bienes y servicios para todos los productos contenidos en la base de datos EXIOBASE.

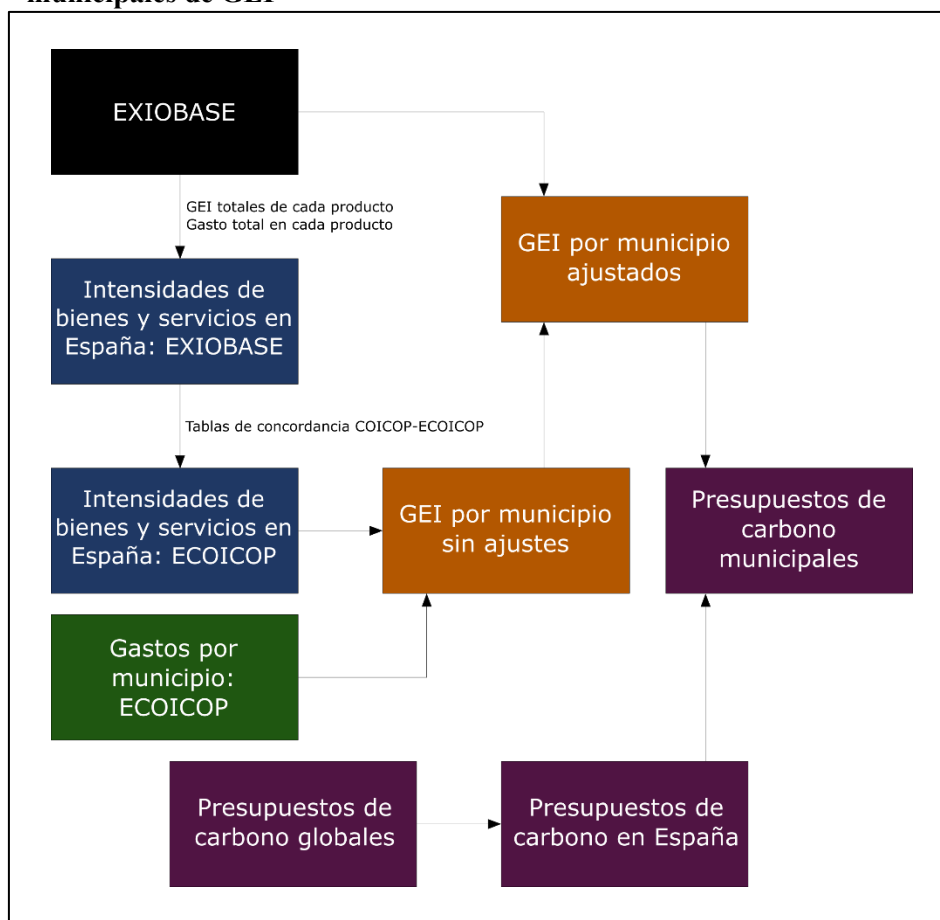
En segundo lugar, dado que la clasificación de los productos en EXIOBASE no coincide exactamente con la clasificación de los datos disponibles sobre el gasto municipal en España (obtenidos del Instituto Nacional de Estadística, INE), que sigue la distribución del ECOICOP, hemos utilizado tablas de concordancia para reorganizar la lista de productos.

En tercer lugar, estimamos las emisiones de GEI de todos los municipios de España, utilizando las intensidades de GEI de los productos y los patrones de gasto estimados en los municipios.

En cuarto lugar, realizamos otro ajuste sobre las emisiones municipales estimadas de GEI para que coincidan con las cifras de ambas bases de datos (EXIOBASE e Instituto Nacional de Estadística).

³ La intensidad de GEI es la cantidad total de GEI generada por cada euro gastado en el consumo de un producto determinado. Se expresa como Kg CO₂-eq/€.

Figura 6. Método de estimación de las emisiones y presupuestos municipales de GEI



Finalmente, calculamos los presupuestos municipales en función de las emisiones de GEI de cada municipio y del presupuesto nacional.

A continuación se presenta una explicación detallada de cada paso.

5.1. Emisiones municipales de GEI

En este apartado, explicamos los diferentes pasos que hemos dado para estimar las emisiones de GEI de cada municipio de España. Además, los archivos de hojas de cálculo con todos los datos están disponibles en el sitio web del proyecto. Para evitar que el texto se vuelva ilegible, aquí no se detallan algunas decisiones muy específicas tomadas durante el cálculo. No obstante, se pueden consultar en las notas incluidas en los ficheros de Excel.

5.1.1. Emisiones de GEI de cada municipio

La base de datos EXIOBASE permite estimar las emisiones de gases de efecto invernadero de 200 productos en España, distinguiendo entre emisiones directas e indirectas y entre tres usuarios finales diferentes: hogares, organizaciones sin ánimo de lucro y gobiernos. Además, hay tres variables que afectan al impacto asociado a la demanda: la formación bruta de capital, los cambios

en los inventarios y los cambios en los valores. El impacto total de cada uno de los tres usuarios finales (hogares, organizaciones sin fines de lucro y gobiernos) se calcula como su impacto directo más una asignación proporcional de las emisiones generadas a través de las otras tres variables (formación bruta de capital, cambios en las existencias y cambios en los bienes de valor). La suma de todas estas partes corresponde al impacto total de España desde una perspectiva orientada al consumo. Para asignar las emisiones de gases de efecto invernadero españolas a todos los municipios, primero debemos trabajar en el marco de EXIOBASE.

Básicamente, hemos dividido las emisiones de GEI españolas en dos categorías principales: "hogares" y "el resto", que incluye gobiernos y organizaciones sin ánimo de lucro. Los impactos asociados a la formación bruta de capital, a los cambios en las existencias y a los cambios en bienes de valor se han redistribuido entre estos dos grupos de demanda final. Dado que el 71% de la demanda en 2022, es decir, el último año considerado en EXIOBASE 3.8.2, corresponde a la demanda de los hogares, hemos asignado a los hogares el 71% de las emisiones derivadas de la formación bruta de capital, los cambios en el stock y los cambios en bienes de valor. El resto de las emisiones se asignaron al "resto". En este contexto, asumimos también que los impactos relacionados con la formación bruta de capital, los cambios en las existencias y los cambios en bienes de valor no son impactos directos de la demanda, sino que son impactos causados por la demanda de los tres actores principales considerados en EXIOBASE: hogares, organizaciones sin fines de lucro y gobiernos.

Esta decisión se tomó porque, para asignar las emisiones de GEI a nivel municipal, nuestra principal orientación son los datos de consumo de los hogares. Tenemos estimaciones municipales sobre el consumo de los hogares, pero no sobre el consumo de los otros actores, ni sobre las otras tres variables. Para hacer coincidir los datos municipales de las estadísticas nacionales con los datos nacionales de EXIOBASE, se asume que la suma de las emisiones de GEI relacionadas con el consumo de los hogares en cada municipio debe corresponder con las emisiones totales generadas por los hogares en España. Por lo tanto, después de estimar las emisiones de GEI para cada municipio, ajustamos los resultados para que coincidan con los resultados nacionales previamente calculados. En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes del "resto", dividimos proporcionalmente las emisiones nacionales entre los municipios aplicando una distribución per cápita. Partimos, por tanto, de que el gasto y el impacto de los gobiernos y de las entidades sin ánimo de lucro son los mismos en toda España y dependen únicamente del número de personas que viven en cada municipio.

Los cálculos detallados se pueden encontrar en el archivo de hoja de cálculo *Impacto_Municipios.xlsx*.

5.1.2. Gasto municipal en bienes y servicios

Los datos sobre el gasto a nivel municipal en España solo están disponibles parcialmente en el INE (2023). Se dispone de datos sobre el gasto medio de los hogares por comunidad autónoma y por tamaño del municipio. A partir de esta información creamos un perfil de gasto para cada municipio. Durante este proceso hubo que hacer algunos ajustes.

Primero, debido a problemas de representatividad de la muestra en la encuesta original, no se muestran algunos valores en tablas desglosadas a alto nivel de detalle. En el Anexo 1, mostramos cómo hemos reconstruido los patrones regionales.

Segundo, también hemos hecho reajustes en base a diferencias en precios de la vivienda (Anexo 2) e impuestos indirectos al consumo regionales (Anexo 3).

Tercero, para elaborar el perfil de gasto del municipio creamos una suerte de número índice basado en el tamaño municipal que será multiplicado a la estructura media de gasto en la comunidad autónoma. Tomamos la media estatal como base.

En cuarto lugar, tuvimos que reconciliar los distintos niveles de desagregación de productos que ofrecían las dos series de datos (comunidad autónoma y tamaño municipal). Por un lado, los datos de estructura de gasto **por tamaño municipal** sólo estaban disponibles a nivel ECOICOP 3. Por otro lado, los datos de la estructura de consumo **a nivel regional** están más desglosados y se dispone de 95 categorías de bienes y servicios, es decir, ECOICOP 4. Para reconciliar las series, reagregamos el gasto por CCAA al nivel ECOICOP 3 tras reconstruir sus valores faltantes (ver Anexo 1) y corregir los diferenciales regionales de impuestos y precio de la vivienda. Los detalles de este procedimiento se pueden encontrar en el archivo de hoja de cálculo *PerfilGasto_Municipios.xlsx*.

5.1.3. Intensidades de GEI de los bienes y servicios

Las emisiones de GEI de cada municipio se calcularon teniendo en cuenta el gasto de cada municipio en 40 categorías de productos organizados según la distribución del ECOICOP (INE, 2019). Sin embargo, la base de datos EXIOBASE contiene 200 categorías de productos organizados en una distribución diferente. Esto nos obliga a hacer algunos ajustes para que ambas bases de datos coincidan. En esta sección, explicamos cómo estimamos la intensidad de los 40 grupos de bienes y servicios teniendo en cuenta estas diferencias.

En primer lugar, la base de datos EXIOBASE nos permite estimar las emisiones de GEI de 200 grupos de productos en cada país, distinguiendo entre emisiones directas e indirectas y entre tres usuarios finales diferentes (hogares, organizaciones sin fines de lucro y gobiernos) más tres variables que asociadas a la demanda (formación bruta de capital, cambios en inventarios y cambios en objetos de valor). Para estimar la intensidad de estos 200 grupos de productos, procedimos de la siguiente manera.

1. Dividimos el gasto total en España entre los hogares particulares y "el resto", tal y como se explica en el apartado 5.1.1. Esto se debe a que nuestro objetivo es estimar las intensidades de bienes y servicios, que luego se multiplicarán por el gasto de los hogares a nivel municipal. Para estimar la intensidad de carbono de los bienes y servicios a nivel municipal sólo utilizamos los datos del grupo de los hogares: incluyendo gasto e impacto de su consumo, pero también una imputación proporcional a los hogares (del 71%) del gasto e impacto de la formación bruta de capital, los cambios en las existencias y los cambios en los valores de objetos valiosos.
2. Por otro lado, los resultados de la aplicación de la ecuación 2 sólo incluyen las emisiones indirectas. Es decir, representan la cantidad de emisiones generadas durante los procesos de producción de bienes y servicios, pero no incluyen las emisiones directas generadas durante el consumo de estos bienes y servicios. Por ello, hemos distribuido las emisiones directas generadas en España entre la lista de 200 grupos de productos, teniendo en cuenta la distribución de estas emisiones presentada en la base de datos de Eurostat (2022): el 74% de las emisiones directas de los hogares se deben a actividades de transporte, el 24% a calefacción/refrigeración y el 2% a otros. El resultado de este primer cálculo es una lista de 200 intensidades de bienes y servicios según la distribución de EXIOBASE.

Posteriormente, tuvimos que transformar esta lista inicial de 200 grupos de productos basada en la clasificación EXIOBASE en una lista de 40 grupos de productos basada en la distribución ECOICOP. Para ello, se utilizaron las tablas de concordancia disponibles en EXIOBASE. Las

tablas de concordancia existentes son muy limitadas, ya que sólo revelan una relación entre un producto en EXIOBASE y un producto en ECOICOP, pero no conocemos la distribución cuantitativa entre productos cuando hay que realizar un desglose. Por ejemplo, la categoría “Vegetales” de la clasificación EXIOBASE está vinculada a la categoría “Vegetales y te” de la clasificación ECOICOP, pero no hay información sobre qué parte del total pertenece a cada categoría de la clasificación ECOICOP. Por lo tanto, esos casos, sólo podemos distribuir las emisiones y los gastos de GEI de manera uniforme entre los productos afectados. Todos los detalles de los cálculos se pueden encontrar en el archivo de la hoja de cálculo *TablasConcordancia.xlsx*.

5.2. Presupuesto municipal de carbono

Los presupuestos municipales de carbono pueden asignarse de acuerdo con diferentes principios de distribución. En este caso, hemos optado por el principio de ajuste simultáneo, es decir, todos los municipios de España asumen un objetivo de neutralidad en carbono para el mismo año, que también se aplica al país. La razón radica en la dificultad de rastrear la historia de las emisiones de carbono a nivel municipal.

Es importante señalar que, a pesar de algunas diferencias discursivas, el principio de "ajuste simultáneo" es matemáticamente equivalente al *grandfathering* o "principio de derechos adquiridos", utilizado con frecuencia en la literatura. Utilizamos la Ec. 6 para distribuir el presupuesto nacional a todos los municipios de España:

$$B_0^{MUN} = B_0^{NAC} \frac{E_0^{MUN}}{E_0^{NAC}} \quad [\text{Ec. 6}]$$

Dónde:

B_0^{MUN} es el presupuesto asignado a cada municipio en el momento inicial, B_0^{NAC} es el presupuesto nacional en el momento inicial, E_0^{MUN} es el nivel de emisiones atribuibles al municipio en el momento inicial y E_0^{NAC} es el nivel de emisiones nacional en el momento inicial (recogido en 2024)⁴.

Al igual que la suma de todas las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel municipal es igual a las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional, la suma del presupuesto de todos los municipios de España es igual al presupuesto de España a nivel nacional.

Según los resultados de la Tabla 4, España solo tiene un presupuesto de carbono positivo en cinco de los quince escenarios: límite de +1,7 °C con año base 2015, límite de +2°C con año base 2015, +1,5°C con año base 2025, +1,7 °C con año base 2025 y límite de +2°C con año base 2025.

Para estos escenarios con un presupuesto positivo, conociendo el nivel actual de emisiones, el presupuesto disponible en 2025 y asumiendo la forma funcional para la reducción, podemos estimar la senda de emisiones de carbono hacia la neutralidad. En la siguiente sección se explica

⁴ A efectos de su aplicación discreta (anual), el año inicial es 2024. Este año revela el presupuesto al comienzo del año 2025 y el nivel de emisiones iniciales, que son las acumuladas durante el año 2024.

cómo se configura la trayectoria de las emisiones en función de la estrategia de reducción que se siga.

Los cálculos detallados se pueden encontrar en el archivo de hoja de cálculo *Presupuestos_Municipios.xlsx*.

5.3. Estrategia climática municipal

Además de los dos parámetros anteriores para construir los escenarios (límite objetivo de aumento de la temperatura global y año base), incluimos lo que llamamos estrategia, que denota la reacción del decisor hacia el presupuesto de carbono. Consideramos tres tipos de escenarios según la estrategia: a) cumplimiento del presupuesto de carbono, b) *business as usual* y c) neutralidad climática en 2050. Estos escenarios diferirán en cuanto a la trayectoria de reducción y el año en que se producirá la neutralidad de carbono. A continuación profundizamos en cada uno de ellos.

5.3.1. Estrategia S_1 : Cumplimiento del presupuesto de carbono

El municipio tiene como objetivo cumplir con el presupuesto de carbono, comprometiéndose a alcanzar la neutralidad de carbono exactamente cuando se agote el presupuesto de carbono. Para este escenario, necesitamos estimar el año en el que España (y todos los municipios bajo esta estrategia) deben ser neutros en carbono para evitar exceder el presupuesto. Para simplificar, asumimos que la estrategia utiliza una trayectoria de reducción lineal (es decir, con reducciones constantes de las emisiones por unidad de tiempo) y, por lo tanto, aplicamos la Ec. 7⁵.

$$N = \frac{2 B_0}{E_0} \quad [\text{Ec. 7}]$$

Dónde:

N es la cantidad de años (desde el año inicial) en la que se debe alcanzar la neutralidad de carbono para cumplir con la restricción presupuestaria, B_0 es el presupuesto de carbono en el momento 0 (según el año base y el límite de temperatura seleccionados) y E_0 es el nivel de emisiones en el momento 0.

El año en el que se alcanza la neutralidad de carbono es el año en el que un territorio emite cero emisiones netas, es decir, emite tantas emisiones de gases de efecto invernadero como absorbe. Ahora que tenemos N , podemos determinar la trayectoria de las emisiones, que viene dada por la Ec. 8.

$$E_t = E_0 - \frac{E_0}{N} t \quad [\text{Ec. 8}]$$

⁵ Esta ecuación es una reorganización de la fórmula para el área del triángulo con el fin de obtener la base del triángulo (N) a partir de la altura (E) y el área (B).

Dónde:

E_t son las emisiones de GEI en el período t y E_0 es la cantidad de emisiones de GEI en el período inicial.

El resultado de aplicar la Ec. 8 se muestra en la Figura 3 y la Figura 5. Ambas cifras muestran una estrategia de reducción lineal que comienza en 2024 y alcanza el eje horizontal (neutralidad de carbono) exactamente cuando se agota el presupuesto de carbono. En la sección 5.4 se transformarán los gráficos de continuos a discretos para favorecer la comprensión.

5.3.2. Estrategia S_2 : *Business as usual* (seguir como hasta ahora)

El municipio no tiene intención de reducir las emisiones de carbono y las mantiene constantes en el nivel de 2024 (Ec. 9). Una vez que se agota el presupuesto de carbono, las emisiones adicionales generan deuda climática. No se establece ningún objetivo de neutralidad de carbono.

$$E_t = E_0 \quad [\text{Ec. 9}]$$

5.3.3. Estrategia S_3 : Neutralidad climática en 2050

El municipio asume el objetivo actual Global, de la UE y de España de alcanzar la neutralidad de carbono en 2050 sin ninguna consideración presupuestaria individualizada. Si el presupuesto de carbono se agota antes de 2050, se generará deuda climática. La trayectoria de las emisiones viene dada por la Ec. 10.

$$E_t = E_0 - \frac{E_0}{2050 - \text{Año inicial}} t \quad [\text{Ec. 10}]$$

5.4. Discretización y representación

En esta sección, transformamos la trayectoria de las emisiones de tiempo continuo en una serie discreta, con el año natural como unidad de tiempo. Realizamos esta transformación porque las series discretas se ajustan mejor al tratamiento convencional de la información contable y a las agendas de objetivos en la gestión pública y, por lo tanto, resultan más intuitivas para los usuarios finales.

Las siguientes explicaciones describen el proceso de construcción de un gráfico discreto que proyecta las emisiones de carbono a lo largo del tiempo para cada municipio y estrategia. Visualmente, corresponde a un gráfico de columnas apiladas, representando dos series diferentes que juntas suman la cantidad de emisiones de cada año: una (en verde) se refiere a aquellas emisiones que están dentro del presupuesto de carbono y la otra (en rojo) contabiliza aquellas emisiones que exceden el presupuesto de carbono y por lo tanto generan deuda climática. Para cada año, las emisiones se colorean en función del estado del presupuesto de la siguiente manera.

$$\text{Emisiones dentro del presupuesto (serie verde)} \begin{cases} \text{if } B_{t-1} > E_t & \rightarrow E_t \\ \text{if } E_t \geq B_{t-1} > 0 & \rightarrow B_{t-1} \\ \text{if } B_{t-1} \leq 0 & \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$\text{Emisiones generando deuda (serie roja)} \begin{cases} \text{if } B_{t-1} > E_t & \rightarrow 0 \\ \text{if } E_t \geq B_{t-1} > 0 & \rightarrow S_1 = 0; S_2, S_3 = E_t - B_{t-1} \\ \text{if } B_{t-1} \leq 0 & \rightarrow S_1 = 0; S_2, S_3 = E_t \end{cases}$$

Nótese que en general para todas las estrategias S (es decir, S_1 , S_2 y S_3) estas expresiones son idénticas excepto para la serie de deuda de S_1 cuando el presupuesto es menor que las emisiones que corresponderían a ese año de acuerdo a la reducción anual que se viene haciendo. Esto es así, porque a diferencia de las otras estrategias, en S_1 el territorio detiene las emisiones al agotar el presupuesto, de forma que no se contrae deuda.

B_t , el presupuesto restante al final del año t , viene dado por la Ec. 11 y E_t , las emisiones en el año t , siguen a la Ec. 12.

$$B_t = B_{t-1} - E_t = B_0 - E_0 t + R \frac{t(t+1)}{2} \quad [\text{Ec. 11}]$$

$$E_t = E_{t-1} - R = E_0 - R t \quad [\text{Ec. 12}]$$

Dónde:

E_0 = emisiones iniciales (2024)

R = reducción anual

B_0 = presupuesto a finales del año inicial 2024 (y disponible al comienzo de 2025)

t = año, contando a partir de 2024. Es decir, 2025 es $t=1$.

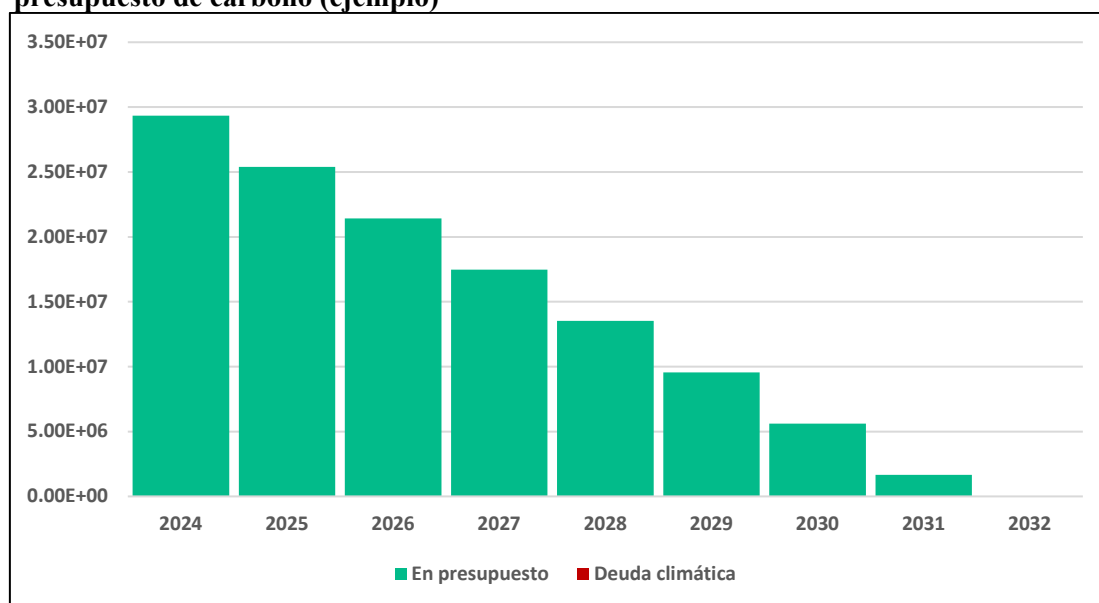
A continuación, calculamos y representamos la trayectoria de las emisiones para las tres estrategias.

5.4.1. Estrategia S_1 : Cumplimiento del presupuesto

En este escenario, los municipios pretenden ceñirse a sus presupuestos de carbono. Como muestra la Figura 7, reducen linealmente sus emisiones de carbono, restando una cantidad constante anualmente. Lo reducen de tal manera que acaban agotando su presupuesto de carbono al mismo tiempo que alcanzan la neutralidad de carbono en N años desde el año inicial (calculado en el apartado 5.3.1). Necesitamos calcular la reducción anual R que lo verifica, y que viene dada por la Ec. 13:

$$R = \frac{(N E_0 - B) 2}{N(N+1)} \quad [\text{Ec. 13}]$$

Figura 7. Estrategia 1: senda de reducción hacia la neutralidad cumpliendo el presupuesto de carbono (ejemplo)



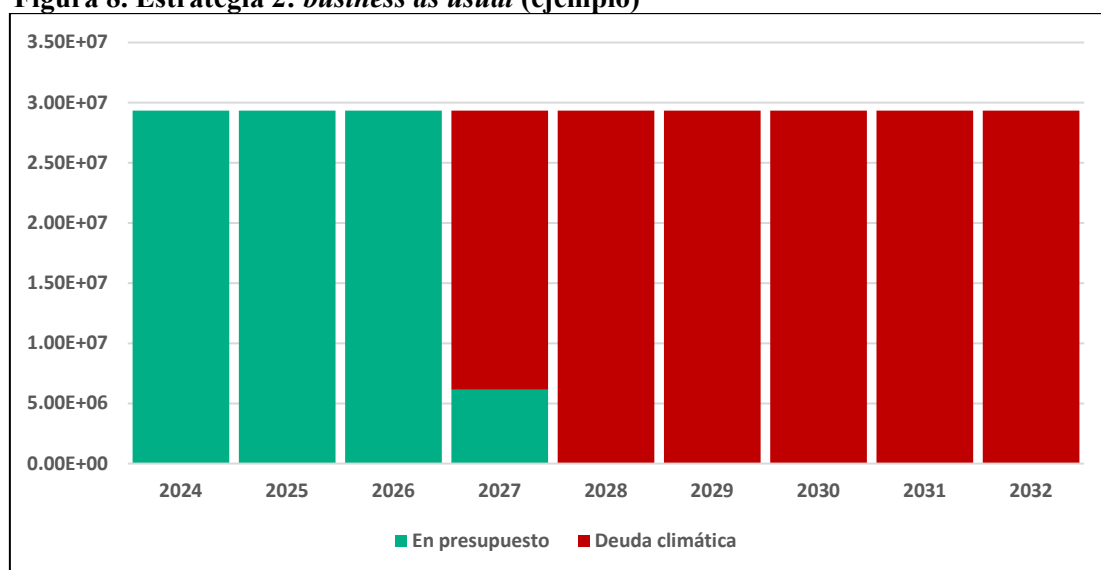
Nota: El tamaño de las barras corresponde a la estimación de gases de efecto invernadero emitidos cada año en kilogramos de CO₂ equivalente. El código de colores se refiere a si estas emisiones se encuentran o no dentro del presupuesto de carbono disponible para el municipio. La barra es verde para la cantidad de emisiones que entran dentro del presupuesto y roja para las que se producen una vez agotado el presupuesto y que, por tanto, generan deuda climática. Las emisiones calculadas representan la huella de carbono del municipio abarcando los alcances 1, 2 y 3.

El R calculado para cada municipio, combinación de parámetros y estrategia aparece en la pestaña *ReducciónAunual* del archivo *Presupuestos_Municipios.xlsx*.

5.4.2. Estrategia S_2 : *Business as usual* (seguir como hasta ahora)

En este escenario, R es igual a cero. Por lo tanto, las emisiones nunca se reducen y nunca se logra la neutralidad de carbono. La Figura 8 ilustra esto. Cuando se agota el presupuesto de carbono, las barras se tiñen de rojo anunciando la generación de deuda climática.

Figura 8. Estrategia 2: *business as usual* (ejemplo)



Nota: El tamaño de las barras corresponde a la cantidad de emisiones cada año, expresada en kilogramos de CO₂ equivalente. El código de colores se refiere a si estas emisiones se encuentran o no dentro del presupuesto de carbono disponible para el municipio. La barra es verde para la cantidad de emisiones que entran dentro del presupuesto y roja para las que se producen una vez agotado el presupuesto y que, por tanto, generan deuda climática. Las emisiones calculadas representan la huella de carbono del municipio abarcando los alcances 1, 2 y 3.

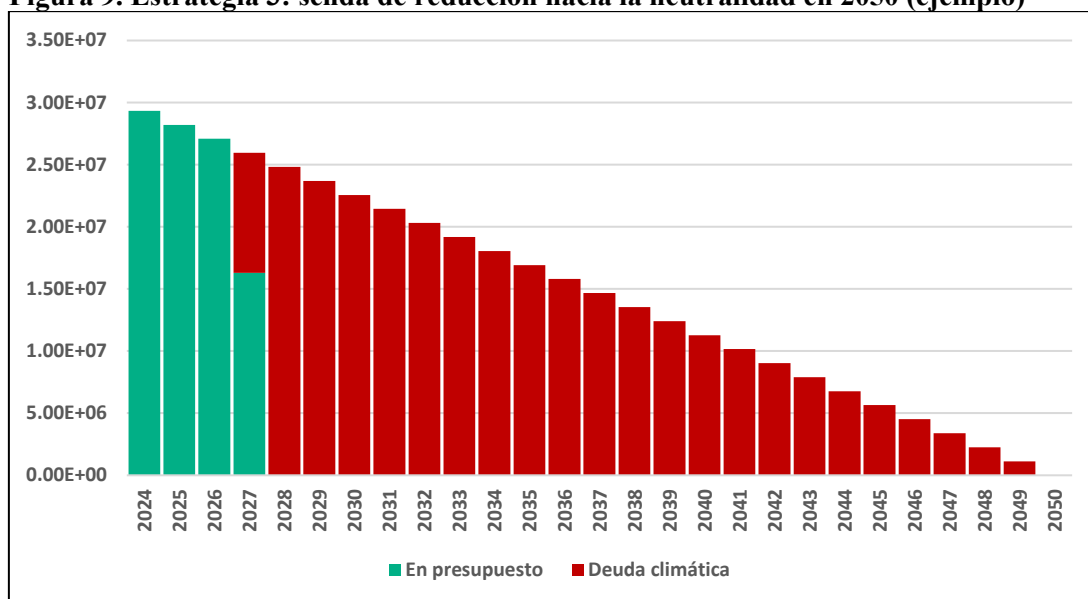
5.4.3. Estrategia S_3 : Neutralidad de carbono en 2050

Esta estrategia sí reconoce la necesidad de reducir las emisiones de carbono, que irán disminuyendo hasta que el municipio alcance la neutralidad en el año 2050. La reducción anual (R) viene dada por la Ec 14.

$$R = \frac{E_0}{(2050 - \text{Año inicial})} \quad [\text{Ec. 14}]$$

Sin embargo, al igual que en la estrategia 2, este escenario no intenta evitar el agotamiento del presupuesto de carbono y genera deuda climática (véase la Figura 9).

Figura 9. Estrategia 3: senda de reducción hacia la neutralidad en 2050 (ejemplo)



Nota: El tamaño de las barras corresponde a la cantidad de emisiones cada año, expresada en kilogramos de CO₂ equivalente. El código de colores se refiere a si estas emisiones se encuentran o no dentro del presupuesto de carbono disponible para el municipio. La barra es verde para la cantidad de emisiones que entran dentro del presupuesto y roja para las que se producen una vez agotado el presupuesto y que, por tanto, generan deuda climática. Las emisiones calculadas representan la huella de carbono del municipio abarcando los alcances 1, 2 y 3.

5.5. Panel interactivo para seleccionar diferentes vías de reducción

La plataforma web proporciona un gráfico interactivo (ver Figura 10) con un panel de control para navegar por todos los escenarios de un municipio. En el panel de control, los usuarios pueden seleccionar los parámetros: estrategia, límite de incremento de temperatura y año base. Dado que hay 3 estrategias, 3 límites de temperatura y 5 años base, el gráfico interactivo muestra 45 escenarios diferentes.

Sin embargo, para aquellos escenarios en los que España ha consumido su presupuesto de carbono (25 de ellos), en lugar de un gráfico, se muestra el siguiente mensaje:

"Para esta combinación de criterios, España agotó su presupuesto de carbono en el año ... y hasta la fecha ha contraído una deuda climática de ... CO₂-eq. Neutralidad de carbono requida inmediatamente".

Figura 10. Gráfico interactivo en la plataforma web



Fuente: Captura del sitio web www.arcalocal.es

5.5.1. Opción de introducir retardos en la acción climática

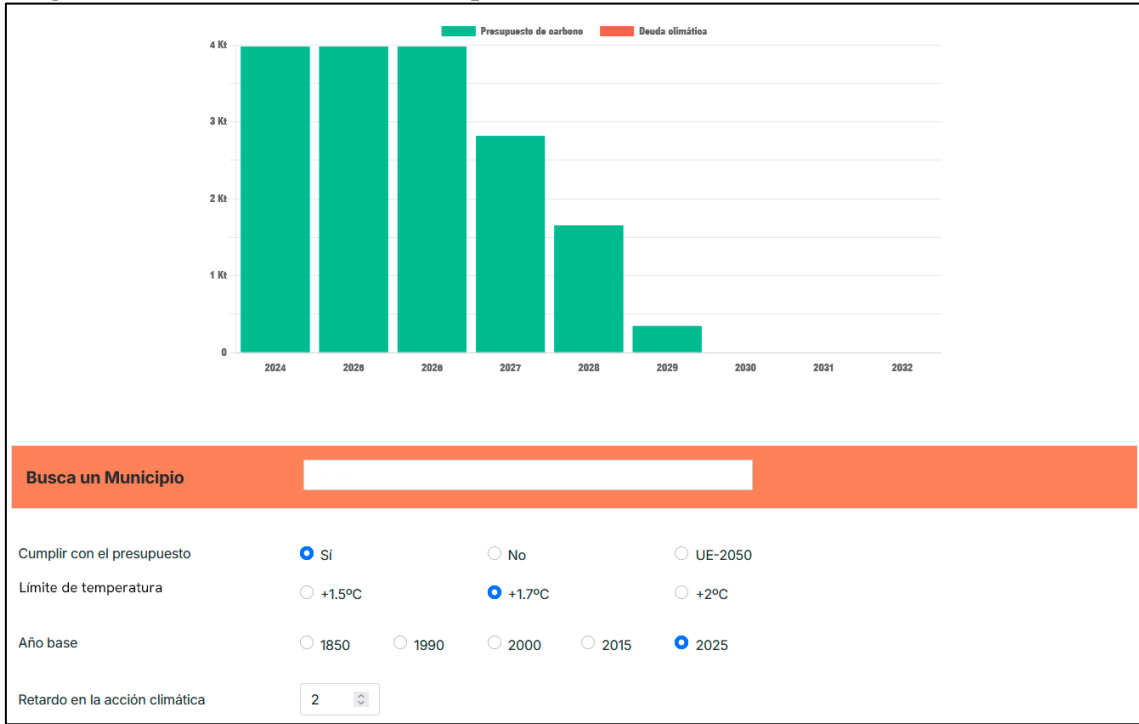
En esta sección explicamos la opción de retardar la acción climática, extendiendo el periodo de *business as usual* y postergando el inicio de la reducción. Distinguimos por tanto dos intervalos temporales: durante y después del periodo de retardo.

Sirva como ejemplo la Figura 11, que muestra la senda de reducción con un retraso de $\delta = 2$ años. Los dos primeros años tras el año 2024 se mantienen como *business as usual* (2025-26) y seguidamente comienza la reducción hacia la neutralidad. Se puede escoger cualquier número de años de retardo δ que conserve presupuesto al final del periodo de *business as usual*. La cantidad máxima de años de retardo viene determinada por el presupuesto según la fórmula Ec. 15.

$$\delta^{max} = \frac{B_0}{E_0} \quad [\text{Ec. 15}]$$

Sin embargo, hay que tener en cuenta que a medida que aumenta δ , el año límite para la neutralidad se va aproximando y aumenta la pendiente de la senda de reducción (la reducción anual R).

Figura 11. Gráfico interactivo en la plataforma web: introduciendo dos años de retardo



Fuente: Captura del sitio web www.arcalocal.es. Se muestra la estrategia S1 para un año base de 2025, un límite de temperatura de +1,7°C y un retardo en la acción climática de 2 años.

Para construir las series, habrá que distinguir entre estos dos periodos de la siguiente manera:

Emisiones dentro del presupuesto (serie verde),

$$\text{cuando } t \leq \delta \begin{cases} \text{si } B_{t-1} > E_{t-1} - R_{t \leq \delta} & \rightarrow E_{t-1} - R_{t \leq \delta} = E_0 \\ \text{si } E_{t-1} - R_{t \leq \delta} \geq B_{t-1} > 0 & \rightarrow B_{t-1} \\ \text{si } B_{t-1} \leq 0 & \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$\text{cuando } t > \delta \begin{cases} \text{si } B_{t-1} > E_{t-1} - R_{t > \delta} & \rightarrow E_{t-1} - R_{t > \delta} \\ \text{si } E_{t-1} - R_{t > \delta} \geq B_{t-1} > 0 & \rightarrow B_{t-1} \\ \text{si } B_{t-1} \leq 0 & \rightarrow 0 \end{cases}$$

Emisiones que generan deuda climática (serie roja),

$$\text{cuando } t \leq \delta \begin{cases} \text{si } B_{t-1} > E_{t-1} - R_{t \leq \delta} & \rightarrow 0 \\ \text{si } E_{t-1} - R_{t \leq \delta} \geq B_{t-1} > 0 & \rightarrow S_1 = 0; S_2, S_3 = E_t - B_{t-1} \\ \text{si } B_{t-1} \leq 0 & \rightarrow S_1 = 0; S_2, S_3 = E_0 \end{cases}$$

$$\text{cuando } t > \delta \begin{cases} \text{si } B_{t-1} > E_{t-1} - R_{t > \delta} & \rightarrow 0 \\ \text{si } E_{t-1} - R_{t > \delta} \geq B_{t-1} > 0 & \rightarrow S_1 = 0; S_2, S_3 = E_{t-1} - R_{t > \delta} - B_{t-1} \\ \text{si } B_{t-1} \leq 0 & \rightarrow S_1 = 0; S_2, S_3 = E_{t-1} - R_{t > \delta} \end{cases}$$

La reducción anual R , que antes era constante, ahora pasa a depender del periodo y la denotamos con R_t . Durante el periodo de retardo de δ años, la reducción anual es $R_{t \leq \delta} = 0$ (como en el escenario de *business as usual*). Tras el retardo comienza el periodo de acción climática con una reducción anual de $R_{t > \delta}$ que será distinta en función de la estrategia.

A continuación, mostramos cómo cambiarían estas variables (R_t , E_t y B_t) para cada estrategia S_i .

5.5.1.1. Estrategia S_1 : Cumplimiento del presupuesto

Reducción anual (R_t)

Cuando $t \leq \delta$; $R_{t \leq \delta} = 0$

Cuando $t > \delta$; $R_{t > \delta} = \frac{E_0^2}{2(B_0 - \delta E_0) + E_0}$

Emisiones (E_t). De manera recursiva siempre serán $E_t = E_{t-1} - R_t$ y utilizando la R_t que proceda según acabamos de mostrar. Si quisiéramos obtener el valor de cualquier t directamente desde las emisiones iniciales, E_0 .

Cuando $t \leq \delta$; $E_t = E_0 - R_{t \leq \delta} t = E_0$

Cuando $t > \delta$; $E_t = E_0 - R_{t \leq \delta} \delta - R_{t > \delta} (t - \delta) = E_0 - \frac{E_0^2}{2(B_0 - \delta E_0) + E_0} (t - \delta)$

Presupuesto (B_t). De manera recursiva siempre será $B_t = B_{t-1} - E_t$. De igual modo, si quisiéramos obtener el valor de cualquier t a partir del presupuesto el año inicial B_0 :

Cuando $t \leq \delta$; $B_t = B_0 - E_0 t$

Cuando $t > \delta$; $B_t = B_0 - E_0 t + \left[\frac{E_0^2 (t - \delta)(t - \delta + 1)}{4(B_0 - \delta E_0) + 2E_0} \right]$

5.5.1.2. Estrategia S_2 : Business as usual (seguir como hasta ahora)

Reducción anual (R_t) es siempre cero.

Cuando $t \leq \delta$; $R_{t \leq \delta} = 0$

Cuando $t > \delta$; $R_{t > \delta} = 0$

Emisiones (E_t). Como R_t es siempre cero,

Cuando $t \leq \delta$; $E_t = E_0$

Cuando $t > \delta$; $E_t = E_0$

Presupuesto (B_t). Como E_t es siempre igual a las emisiones iniciales E_0 ,

Cuando $t \leq \delta$; $B_t = B_0 - E_0 t$

Cuando $t > \delta$; $B_t = B_0 - E_0 t$

5.5.1.3. Estrategia S_3 : Neutralidad en carbono en 2050

Reducción anual (R_t)

Cuando $t \leq \delta$; $R_{t \leq \delta} = 0$

Cuando $t > \delta$; $R_{t > \delta} = \frac{E_0}{26-\delta}$

Emisiones (E_t).

Cuando $t \leq \delta$; $E_t = E_0$

Cuando $t > \delta$; $E_t = E_0 - \frac{E_0}{26-\delta} (t - \delta)$

Presupuesto (B_t).

Cuando $t \leq \delta$; $B_t = B_0 - E_0 t$

Cuando $t > \delta$; $B_t = B_0 - E_0 t + \frac{E_0(t-\delta)(t-\delta+1)}{52-2\delta}$

6. Observaciones finales

Este informe técnico tiene como objetivo proporcionar una explicación transparente de las metodologías y datos utilizados en los materiales generados por el proyecto ARCA relacionados con las emisiones de carbono y los presupuestos. Estos materiales se comparten en acceso abierto en el sitio web www.arcalocal.es y repositorios.

Los cálculos se basan en metodologías de última generación, utilizan bases de datos confiables y encuentran formas creativas de proporcionar estimaciones a un bajo nivel de agregación. Los resultados aportados son de utilidad para los responsables políticos y la sociedad civil, especialmente para los actores locales en España, pero no solo.

A lo largo del documento, hemos ido detallando las limitaciones e incertidumbres acumuladas a lo largo de los cálculos. Algunas de las incertidumbres se deben a las limitaciones de la ciencia de la física del clima, otras a la posible inexactitud de los datos en el enorme período histórico abarcado, y otras a la falta de detalle en otras estadísticas. Sin embargo, los análisis de sensibilidad realizados revelan que las fuertes desviaciones en esos datos no alteran demasiado los resultados proporcionados. Por lo tanto, las limitaciones comunicadas de forma transparente en este informe no deberían ser obice para la inacción.

Referencias

- Armstrong McKay, D. I., Staal, A., Abrams, J. F., Winkelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., Fetzer, I., Cornell, S. E., Rockström, J., & Lenton, T. M. (2022). Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*, 377(6611), eabn7950. <https://doi.org/10.1126/science.abn7950>
- Climate Watch. (2023). *Historical GHG Emissions (1990-2020)*. World Resources Institute. <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>
- Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Becker, W., Monforti-Ferrario, F., Quadrelli, R., Riskez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Grassi, G., Rossi, S., Brandao De Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., & Vignati, E. (2023). *GHG emissions of all world countries – JRC/IEA 2023 Report* (Publications Office of the European Union, pp. 283-283). <https://www.nature.com/articles/296283c0>
- Dao, H., Peduzzi, P., & Friot, D. (2018). National environmental limits and footprints based on the Planetary Boundaries framework: The case of Switzerland. *Global Environmental Change*, 52, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.06.005>
- di Donato, M., Lomas, P. L., & Carpintero, Ó. (2015). Metabolism and Environmental Impacts of Household Consumption: A Review on the Assessment, Methodology, and Drivers. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), Article 5. <https://doi.org/10.1111/jiec.12356>
- European Commission. (2021). «Fit for 55»: *Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality—COM(2021) 550 final*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN>
- Fanning, A. L., & O'Neill, D. W. (2016). Tracking resource use relative to planetary boundaries in a steady-state framework: A case study of Canada and Spain. *Ecological Indicators*, 69, 836-849. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.034>
- Gapminder. (2023). *Population since 100000 BC*. <https://www.gapminder.org/data/documentation/gd003/>
- Hickel, J. (2020). Quantifying national responsibility for climate breakdown: An equality-based attribution approach for carbon dioxide emissions in excess of the planetary boundary. *The Lancet Planetary Health*, 4(9), Article 9. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30196-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30196-0)
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Moran, D., & Wood, R. (2014). Convergence between EORA, WIOD, EXIOBASE, and open EU's consumption-based carbon accounts. *Economic Systems Research*, 26(3), Article 3. <https://doi.org/10.1080/09535314.2014.935298>
- Nykqvist, B., Persson, A., Cornell, S., & Rockström, J. (2013). *National environmental performance on planetary boundaries: A study for the Swedish Environmental Protection Agency*. Swedish Environmental Protection Agency.
- Purvis, B., Calzolari, T., Bruno, J., Genovese, A., MahmoudGonbadi, A., Pansera, M., & Gihring, K. (2023). Exploring a just transition to the circular economy. *H2020 Just2CE Project, Deliverable 4.1*.
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., ... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Stadler, K., Wood, R., Bulavskaya, T., Södersten, C.-J., Simas, M., Schmidt, S., Usubiaga, A., Acosta-Fernández, J., Kuenen, J., Bruckner, M., Giljum, S., Lutter, S., Merciai, S., Schmidt, J. H., Theurl,

- M. C., Plutzer, C., Kastner, T., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., ... Tukker, A. (2021). *EXIOBASE 3.8.1 database*. Zenodo: EXIOBASE 3.8.1. doi.org/10.5281/zenodo.4588235
- Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Soto-Oñate, D., Ovejero-Campos, A., Urbieto, P., & Méndez, G. (2022). A framework to allocate responsibilities of the global environmental concerns: A case study in Spain involving regions, municipalities, productive sectors, industrial parks, and companies. *Ecological Economics*, 192, 107258. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107258
- Tollefson, J. (2021). Top climate scientists are sceptical that nations will rein in global warming. *Nature*, 599(7883), 22-24. https://doi.org/10.1038/d41586-021-02990-w
- UN. (2022). *World Population Prospects 2022*. https://population.un.org/wpp/Download/Standard/MostUsed/
- Wood, R., Grubb, M., Anger-Kraavi, A., Pollitt, H., Rizzo, B., Alexandri, E., Stadler, K., Moran, D., Hertwich, E., & Tukker, A. (2020). Beyond peak emission transfers: Historical impacts of globalization and future impacts of climate policies on international emission transfers. *Climate Policy*, 20(sup1), Article sup1. https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1619507

Anexo 1. Reconstrucción de patrones de consumo ante los valores faltantes

Debido a falta de representatividad de la muestra para algunos datos de consumo cuando descendemos a un alto nivel de detalle (CCAA y ECOICOP de 4 dígitos), hay una parte considerable de los datos que no se muestran. Esto es especialmente patente en las comunidades y ciudades autónomas que tienen un bajo número de entrevistas, como en el caso de Ceuta y Melilla. Esto hace que dispongamos de un valor medio de gasto total por persona en cada región distinto (superior) a la suma de su desglose en tipos de productos consumidos (pues no se revelan todos). La diferencia es lógicamente mayor a medida que hay mayor proporción de valores faltantes.

Como necesitamos cierto detalle en tipos de producto para poder estimar la huella climática del consumo, reconstruimos los patrones regionales reasignando la cantidad de consumo no revelado con base en los patrones de consumo medios estatales (que sí se revelan). Dicho de otro modo, esta estrategia usa las proporciones estatales para repartir el consumo no revelado en cada región entre las categorías de producto faltantes. Esta estrategia de reconstrucción se fundamenta en la asunción de que hay suficiente homogeneidad en las proporciones de los patrones de consumo a lo largo de las regiones españolas. Lo cual es observable con los datos de los que disponemos y evaluado el coeficiente de correlación de la distribución del consumo estatal por categorías de producto con la distribución en las regiones. El coeficiente de correlación de cada comunidad o ciudad autónoma con el patrón estatal oscila entre 0.983 y 0.995. Es decir, hay una homogeneidad casi perfecta.

La ecuación A.1 muestra cómo se obtiene la cantidad total de gasto no asignado (no revelado): se resta la suma de gasto en categorías de producto reveladas en la región al gasto total en la región.

$$F_j = \sum_{\forall i} G_{ij} - \sum_{i \in \text{reveladas}} G_{ij} \quad [\text{Ec. A.1}]$$

Donde:

F_j : Gasto total medio por persona en la región j no revelado.

G_{ij} : Gasto total medio por persona en producto i y en la región j.

$\sum_{\forall i} G_{ij}$: Gasto total medio por persona de la región j en todos los productos.

$\sum_{i \in \text{no revelados}} G_{ij}$: Gasto medio por persona en categoría de producto i en la región j para el conjunto de categorías de producto reveladas en esa región.

Esta cantidad (gasto total no revelado, N_j) se distribuye entre las categorías de producto no reveladas para la región j en proporción al patrón medio estatal de la forma en la que describe la ecuación A.2.

$$D_{ij} = F_j \times \frac{G_{iE}}{\sum_{i \in \text{no reveladas en j}} G_{iE}} \quad [\text{Ec. A.2}]$$

Donde:

D_{ij} : Gasto imputado a categoría de producto faltante i en la región j .

G_{iE} : Gasto total medio por persona en producto i en España.

$\sum_{i \in \text{no reveladas en } j} G_{iE}$: Sumatorio de gastos medios en España en las categorías de producto faltantes en la región j .

Anexo 2. Ajuste por precios de la vivienda

Utilizamos la cantidad gastada en un producto para aproximar la cantidad de producto consumida por un actor y, a partir de ahí, las emisiones generadas. Sin embargo, esta equivalencia puede verse distorsionada por la existencia de precios muy heterogéneos dependiendo del momento o el lugar en que los actores adquieren el producto. Es el caso de los consumos relacionados con la vivienda. El precio del suelo y los alquileres pueden diferir enormemente a lo largo de la geografía (y, por supuesto, en el tiempo). En nuestro caso, vimos necesario corregir los gastos en varias partidas relacionadas con la vivienda en función tanto de la comunidad autónoma como del tamaño del municipio.

Como proxy para capturar los diferenciales en precios de la vivienda por CCAA y tamaño de municipio, utilizamos el precio del suelo urbano elaborado por el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible del Gobierno de España⁶. Utilizamos esta medida por ser la única que ofrece diferencias por tamaño de municipio y en su desglose autonómico muestra datos para Ceuta y Melilla, aunque sólo hasta 2022. Hemos comprobado si la distribución de precios del suelo nos sirve de proxy evaluando su correlación con otras fuentes disponibles. Para la distribución por comunidades autónomas, esta serie (precio medio del suelo en 2022) elaborada por dicho Ministerio muestra un coeficiente de correlación muy alto con otras series de datos una vez apartadas Ceuta y Melilla:

- Precio del m² de vivienda en 2023 del anuario estadístico de estadística registral inmobiliaria del Colegio de Registradores de la Propiedad (2023): 0.90.
- El precio del m² de vivienda de Fotocasa en 2023 (Fotocasa, 2024a): 0.92.
- El precio del m² de alquiler de Fotocasa en 2023 (Fotocasa, 2024b): 0.85.

Tampoco hay diferencias sustanciales en la distribución autonómica con respecto a la misma serie de datos del Ministerio para 2023 (0.99 de coeficiente de correlación).

Para construir el índice que elimine el diferencial de precios, usamos el valor medio español como referencia del modo que muestra la **Ec. A.3**.

$$\text{Índice_vivienda} = \frac{\text{precio medio del m}^2 \text{ en España}}{\text{precio medio del m}^2 \text{ en región o tamaño de municipio}} \quad [\text{Ec. A.3}]$$

⁶ Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2024) Estadística de precios de suelo urbano. URL: <https://apps.fomento.gob.es/BoletinOnline2/?nivel=2&orden=36000000> [Último acceso: 27/11/2024]

Anexo 3. Ajuste por diferencias regionales en impuestos al consumo

En la actualidad coexisten distintos sistemas regionales impuestos al consumo con tipos de gravamen muy diferentes. La mayoría de las regiones autónomas están sujetas al Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA), pero están exentas Canarias, Ceuta y Melilla, que manejan sus propios impuestos al consumo. Canarias aplica el Impuesto General Indirecto Canario (IGIC) y Ceuta y Melilla el IPSI (cuyos tipos de gravamen deciden por separado). Por tanto, hay cuatro regímenes impositivos con tipos de gravamen diferentes. En esta sección tratamos de ajustar los consumos trayendo el efecto diferencial de los regímenes regionales sobre los precios de consumo.

Este proceso requirió, primero, construir una tabla con los tipos impositivos y, segundo, calcular un índice para homogeneizar los valores bajo una hipotética aplicación del régimen general del IVA.

La Tabla A.1 muestra nuestra interpretación de los tipos de gravamen que se aplicarían en los diferentes sistemas impositivos desglosados en categorías de producto de 4 dígitos⁷. Algunos aparecen con tipos promedio porque contiene productos con diferentes tipos de gravamen al nivel de 5 dígitos.

El índice, mostrado por la **Ec. A.4**, anula el impuesto regional aplicado y le aplica el IVA que le correspondería a su categoría de producto en el régimen general.

$$\text{Índice_impuestos} = \frac{1 + \text{tipo de gravamen bajo régimen general (IVA)}}{1 + \text{tipo de gravamen bajo régimen regional}} \quad [\text{Ec. A.4}]$$

Mención aparte merecen los impuestos a los combustibles, que están sujetos a distintos impuestos especiales que se manejan autónomamente por estos cuatro distritos. En su caso, hemos calculado el tipo efectivo (integrando los impuestos generales y especiales) en cada región y lo hemos incorporado a la tabla y el índice.

Tabla A.1. Tipos de gravamen por categoría de producto y distrito fiscal.

Código	Nombre	IVA	IGIC	IPSI Ceuta	IPSI Melilla
01.1.1	Pan y cereales	7.8	4.4	2.8	0.5
01.1.2	Carne	10.0	0.0	3.0	0.9
01.1.3	Pescado y marisco	10.0	0.0	3.0	0.5
01.1.4	Leche, queso y huevos	4.9	0.0	2.6	0.5
01.1.5	Aceites y grasas	10.0	1.8	2.0	0.5
01.1.6	Frutas	4.0	0.0	2.4	0.5
01.1.7	Legumbres y hortalizas	5.0	0.0	1.0	1.1
01.1.8	Azúcar, confitura, miel, chocolate y confitería	10.0	7.0	3.0	4.8
01.1.9	Productos alimenticios n.c.o.p.	10.0	7.0	3.0	4.0
01.2.1	Café, té y cacao	10.0	3.0	5.7	1.7
01.2.2	Agua mineral, refrescos, zumos de frutas y vegetales	21.0	2.0	4.3	4.8

⁷ Algunos aparecen agregados al nivel de 3 dígitos, para ajustarnos a la forma de desglosar los datos de la Encuesta de Presupuestos Familiares del INE.

02.1.1	Bebidas destiladas	21.0	15.0	10.0	10.0
02.1.2	Vino	21.0	15.0	10.0	10.0
02.1.3	Cerveza	21.0	15.0	10.0	10.0
02.2.0	Tabaco	31.7	11.3	23.7	23.7
03.1.1	Prendas de vestir	21.0	3.0	5.0	5.0
03.1.2	Otros artículos de vestir y artículos de mercería	21.0	3.0	7.5	7.5
03.2.0	Calzado y sus reparaciones	18.8	3.8	3.6	4.8
04.1.1	Alquiler de vivienda principal	Se ajustan por medio del proceso descrito en Anexo 2.			
04.1.2	Otros alquileres				
04.2.1	Alquiler imputado a la vivienda principal en propiedad				
04.2.2	Otros alquileres imputados				
04.3.0	Conservación y reparación de la vivienda	11.6	7.0	4.4	4.4
04.4.1	Suministro de agua	10.0	7.0	4.0	4.0
04.4.2	Recogida de basura	10.0	7.0	4.0	4.0
04.4.3	Alcantarillado	10.0	7.0	4.0	4.0
04.4.4	Otros servicios relacionados con la vivienda n.c.o.p.	21.0	7.0	4.0	4.0
04.5.1	Electricidad	7.5	0.0	1.0	1.0
04.5.2	Gas	13.0	3.0	0.5	0.5
04.5.3	Combustibles líquidos	21.0	3.0	0.5	7.0
04.5.4	Combustibles sólidos	21.0	3.0	0.5	7.0
05.1.0	Muebles y accesorios, alfombras y otros revestimientos de suelos	18.3	5.0	7.0	8.5
05.2.0	Artículos textiles para el hogar	18.8	3.0	8.8	6.4
05.3.1	Grandes aparatos domésticos, eléctricos o no	21.0	7.0	10.0	10.0
05.3.2	Pequeños electrodomésticos	21.0	7.0	10.0	10.0
05.4.1	Cristalería, vajilla y utensilios para el hogar	18.3	7.0	8.5	6.3
05.4.2	Grandes herramientas y equipos	21.0	7.0	7.0	7.0
05.4.3	Pequeñas herramientas y accesorios	17.3	7.0	8.0	8.0
05.5.1	Bienes no duraderos para el hogar	21.0	7.0	3.0	7.0
05.5.2	Servicio doméstico y otros servicios para el hogar	10.0	7.0	4.0	4.0
06.1.1	Productos farmacéuticos	10.0	0.0	0.5	0.5
06.1.2	Otros productos médicos	18.3	3.0	10.0	10.0
06.1.3	Aparatos y equipos terapéuticos	10.0	3.0	0.5	0.5
06.2.1	Servicios médicos	10.0	7.0	4.0	4.0
06.2.2	Servicios dentales	10.0	7.0	4.0	4.0
06.2.3	Servicios paramédicos	10.0	7.0	4.0	4.0
07.1.1	Automóviles	21.0	9.5	10.0	10.0
07.1.2	Motocicletas	21.0	9.5	10.0	10.0
07.1.3	Bicicletas	21.0	9.5	10.0	0.5
07.2.1	Piezas de repuesto y accesorios para vehículos personales	21.0	7.0	10.0	10.0
07.2.2	Carburantes y lubricantes para vehículos personales	36.8	14.7	12.5	13.4
07.2.3	Mantenimiento y reparación de vehículos personales	21.0	7.0	4.0	4.0
07.2.4	Otros servicios relativos a los vehículos personales	21.0	7.0	4.0	4.0
07.3.1	Transporte de pasajeros por ferrocarril	10.0	9.5	2.0	0.5
07.3.2	Transporte de pasajeros por carretera	10.0	9.5	2.0	0.8
07.3.3	Transporte aéreo de pasajeros	10.0	9.5	4.0	4.0
07.3.4	Transporte de pasajeros por mar y por vías navegables interiores	10.0	9.5	4.0	4.0
08.1.0	Equipos de telefonía y fax	21.0	7.0	4.0	4.0
08.2.0	Servicios de telefonía y fax	21.0	7.0	4.0	4.0

09.1.1	Equipos para la recepción, registro y reproducción de sonido e imagen	21.0	7.0	10.0	10.0
09.1.2	Equipos fotográficos y cinematográficos e instrumentos ópticos	21.0	7.0	10.0	10.0
09.1.3	Equipos de procesamiento de información	21.0	7.0	10.0	10.0
09.1.4	Soportes de imagen, sonido y datos	21.0	7.0	10.0	10.0
09.2.1	Juegos, juguetes y aficiones	21.0	7.0	10.0	10.0
09.2.4	Equipos para deporte, acampada y ocio al aire libre	21.0	7.0	8.0	8.0
09.2.2	Jardinería, plantas y flores	21.0	7.0	7.0	10.0
09.2.3	Animales domésticos y productos relacionados	21.0	7.0	2.5	2.8
09.3.1	Servicios recreativos y deportivos	21.0	7.0	4.0	4.0
09.3.2	Servicios culturales	18.3	3.0	5.0	4.7
09.3.3	Juegos de azar	21.0	7.0	4.0	4.0
09.4.1	Libros	4.0	0.0	1.4	1.4
09.4.2	Prensa	4.0	0.0	0.5	0.5
09.4.3	Material impreso diverso	21.0	7.0	7.0	10.0
09.5.0	Paquetes turísticos	21.0	7.0	4.0	4.0
10.1.1	Enseñanza infantil y primaria	21.0	7.0	4.0	4.0
10.1.2	Enseñanza infantil y primaria	21.0	7.0	4.0	4.0
10.2.1	Enseñanza secundaria	21.0	7.0	4.0	4.0
10.2.2	Enseñanza postsecundaria no superior	21.0	7.0	4.0	4.0
10.3.0	Enseñanza superior	21.0	7.0	4.0	4.0
10.4.0	Enseñanza no definida por nivel	21.0	7.0	4.0	4.0
11.1.1	Restauración	10.0	7.0	1.0	1.0
11.1.2	Comedores	10.0	7.0	1.0	1.0
11.2.0	Servicios de alojamiento	10.0	7.0	4.0	2.0
12.1.1	Peluquerías y establecimientos de estética	21.0	7.0	4.0	4.0
12.1.2	Aparatos eléctricos para el cuidado personal	21.0	7.0	7.0	7.0
12.1.3	Otros aparatos, artículos y productos para el cuidado personal	21.0	7.0	10.0	10.0
12.2.1	Joyería, bisutería y relojería	21.0	15.0	5.0	10.0
12.2.2	Otros efectos personales	21.0	7.0	5.0	10.0
12.3.0	Protección social	21.0	7.0	4.0	4.0
12.4.1	Seguro relacionado con la vivienda	21.0	7.0	4.0	4.0
12.4.2	Seguro relacionado con la salud	21.0	7.0	4.0	4.0
12.4.3	Seguro relacionado con el transporte	21.0	7.0	4.0	4.0
12.4.4	Otros seguros	21.0	7.0	4.0	4.0
12.5.0	Otros servicios financieros n.c.o.p.	21.0	7.0	4.0	4.0
12.6.0	Otros servicios n.c.o.p.	15.8	4.3	3.0	3.0

Anexo 4. Histórico de versiones

A continuación, se registran las diferentes versiones publicadas de este informe técnico y los materiales complementarios, así como las actualizaciones que se hicieron y las razones que las motivaron.

Tabla A.2. Histórico de versiones de este Informe Técnico y materiales complementarios.

Versión	Descripción
V20250301	Publicación inicial de Informe técnico y datos
V20250601	<p>Se resolvió un problema con los valores de las intensidades de carbono que se arrastraba desde las tablas de concordancia. Esto producía distorsiones en la distribución de emisiones municipales totales y por categoría de producto. Si bien las alteraciones en la distribución de emisiones municipales totales no eran significativas, sí que se producían altas perturbaciones en la distribución por categoría de producto dando lugar a resultados inverosímiles.</p> <p>Se actualizaron los datos de población a 1 de enero de 2023 con las cifras definitivas del INE para esa fecha.</p> <p>También se elevó el nivel de agregación en categorías de consumo de 4 dígitos a 3 dígitos para suavizar las discrepancias entre los datos de consumo por producto procedentes de Exiobase y de la EPF.</p> <p>Los archivos de datos revisados fueron cuatro:</p> <ol style="list-style-type: none">1. TablasConcordancia.xlsx2. PerfilGasto_Municipios3. Impacto_Municipios.xlsx4. Presupuestos_Municipios.xlsx
V20251001	<p>Se añaden tres secciones en el informe técnico:</p> <p>Secciones 5.3.3 y 5.4.3. Introducen una tercera posible estrategia: neutralidad de carbono en 2050. Esta es la estrategia seguida por la UE y España actualmente.</p> <p>Sección 5.5: explica cómo se construye el panel interactivo de la calculadora de objetivos climáticos que hay en https://arcalocal.es/calcular-un-objetivo-para-mi-municipio/</p>

