

Hacia la transformación del sistema alimentario en España: situación actual, impactos y escenarios de futuro



1. Introducción / 9

2. Metodología / 12

2.1. Escenarios globales / 12

2.2. Modelos de transición / 13

2.2.1. Situación actual: baseline

2.2.2. Modelo Business As Usual (BAU)

2.2.3. Modelo de transición ecológica (BIO+)

2.3. Aproximaciones metodológicas a los indicadores / 17

2.3.1. Modelización

2.3.2. Productividad Primaria Neta y balances de nitrógeno y carbono

2.3.3. Balance hídrico y huella hídrica

2.5.2. Empleo

2.5.3. Huella territorial

2.5.4. Energía no renovable

2.5.5. Emisiones de gases de efecto invernadero

3. Resultados / 22

3.1. La organización del sistema alimentario / 22

3.1.1. La superficie agrícola

3.1.2. La superficie no cultivada

3.1.3. La producción agrícola

3.1.4. Los rendimientos de la producción

3.1.5. Los cambios en la Productividad Primaria Neta

3.1.6. El retorno del carbono a los agroecosistemas:
estrategias de sostenibilidad

3.1.6.1. Carbono aplicado

3.1.6.2. Carbono humidificado

3.1.7. Los manejos del nitrógeno en los agroecosistemas

3.1.8. La alimentación de la cabaña ganadera

3.1.9. La producción ganadera

3.1.10. El balance comercial de las cadenas alimentarias

3.2. Las cadenas alimentarias pesqueras / 58

3.2.1. Situación actual del sistema alimentario pesquero

3.2.2. Las importaciones: un pilar clave del sistema actual

3.2.3. Las capturas de la flota española:
una actividad mayoritariamente en el extranjero

3.2.4. Las proyecciones de las cadenas alimentarias pesqueras
en los horizontes temporales 2030-2050

Hito temporal 2030

Hito temporal 2050

3.2.5. Tendencias futuras en la disponibilidad bruta:
reducción de capturas, crecimiento de la acuicultura
y cambios en la dependencia comercial

3.2.6. Cambios en las artes de pesca y procedencia de las capturas
en los modelos BAU y BIO+

3.2.7. Destino de la disponibilidad bruta en los modelos BAU y BIO+:
diferencias en consumo, exportaciones, industria y piensos
Distribución del producto transformado y sin transformar
en los modelos BAU y BIO+
El consumo como destino prioritario en BIO+
Las exportaciones en BAU y su reducción en BIO+
Transformación industrial: estabilidad en BAU
y reducción drástica en BIO+
Eliminación de la biomasa destinada a piensos en BIO+

3.2.8. Cambios en la estructura productiva de la flota

3.2.9. Evolución en el escenario BAU: reducción del número de barcos
y la potencia, pero se mantiene la dependencia de caladeros
no comunitarios

3.2.10. Evolución en el escenario BIO+: menor reducción de la flota
con foco en caladeros nacionales y relocalización
de la actividad pesquera

3.3. La dieta en los escenarios planteados / 82

3.3.1. Los cambios en la alimentación disponible

3.3.1.1. Energía

3.3.1.2. Materia fresca

3.3.1.3. Proteínas

3.3.1.4. Lípidos

3.3.1.5. Carbohidratos

3.3.2. Cantidad consumidas

3.3.3. Energía consumida

3.3.4. Distancia con respecto al consumo saludable

3.3.5. Perfiles energéticos

4. Indicadores / 95

4.1. Contaminantes en alimentos / 95

4.2. Biodiversidad / 101

4.2.1. Biodiversidad existente

4.2.2. Influencia de los efectos del cambio climático en las especies

4.2.2.1. Modelo BAU

4.2.2.2. Modelo BIO+

4.2.3. Especies amenazadas

4.2.4. Biodiversidad marina

4.3. Huella hídrica / 112

4.3.1. Huella hídrica en hm³

4.3.1.1. Huella hídrica total

4.3.1.2. Por categoría de cultivo

4.3.2. Huella en valores relativos (m³ por tonelada de producto)

4.4. Empleo / 119

4.4.1. El sector agrícola y ganadero

4.4.2. El sector pesquero

4.5. Emisiones CO₂ eq del sistema en conjunto / 126

- 4.5.1. La producción agrícola y ganadera
- 4.5.2. Sector pesquero
 - 4.5.2.1. Emisiones según caladero y arte de pesca
- 4.5.3. Flujo de emisiones a lo largo de la cadena alimentaria pesquera de la situación actual

4.6. Impactos de la alimentación en España / 140

- 4.6.1. Energía no renovable del consumo alimentario
- 4.6.2. Superficie cultivada asociada a la alimentación en España
- 4.6.3. Emisiones de gases de efecto invernadero asociados a la alimentación en España
- 4.6.4. Empleo asociado a la alimentación en España

5. Discusión / 156

5.1. El sector agrícola y ganadero / 156

- 5.1.1. Los usos del suelo
- 5.1.2. La producción agrícola
- 5.1.3. El retorno del carbono a los agroecosistemas.
- 5.1.4. El efecto sobre la biodiversidad
 - 5.1.4.1. El abandono de los plaguicidas sintéticos que conlleva la conversión a producción ecológica, reduce el efecto deletéreo que éstos presentan sobre los organismos vivos
 - 5.1.4.2. El incremento de la PPN y la fitomasa recirculante, y el uso de variedades tradicionales de cereal con sistemas radiculares y volumen de residuos mayores que las variedades modernas impulsan la biodiversidad
 - 5.1.4.3. La sustitución de fertilizantes de síntesis química por fertilizantes y estrategias orgánicas mejora la biodiversidad
 - 5.1.4.4. La biodiversidad marina
 - 5.1.4.5. La reducción de la cabaña ganadera
- 5.1.5. El balance comercial de las cadenas alimentarias
- 5.1.6. Un cambio de modelo agrario está en marcha
- 5.1.7. La degradación de los bienes fondo

5.2. La importancia de los productos del mar / 171

- 5.2.1. Una situación altamente dependiente del extranjero
- 5.2.2. Cambio climático y reducción de capturas: implicaciones para la seguridad alimentaria
- 5.2.3. Impactos socioeconómicos: la crisis de la flota y del empleo en el sector
- 5.2.4. Una alternativa basada en la relocalización y la sostenibilidad pesquera
- 5.2.5. Reducción de las importaciones y disminución de impactos ambientales

5.3. Los cambios en la alimentación / 175

- 5.3.1. Una alimentación muy poco saludable
- 5.3.2. Los potenciales cambios en el modelo BIO+
- 5.3.3. Los limitantes vinculados a la capacidad productiva

5.4. Los impactos ambientales / 179

- 5.4.1. Las emisiones de gases de efecto invernadero
 - 5.4.1.1. La producción agraria y ganadera
 - 5.4.1.2. La alimentación
- 5.4.2. Huella hídrica
- 5.4.3. El empleo

5.5. El modelo BAU no es la solución / 184

6. Conclusiones / 188

7. Referencias / 196

8. Índice de figuras y tablas / 208

9. Anexo metodológico / 214

A1. Narrativa asociada a los escenarios climáticos (NEC) / 214

- A1.1. "Sustainable Pathway" (SSP1-RCP2.6, escenario de cambios socioeconómicos transformadores y reducción de emisiones)
- A1.2. "Local Stewardship" (SSP2-RCP4.5, escenario intermedio)
- A1.3. "World Markets" (SSP5-RCP8.5, escenario de alto consumo energético y altas emisiones)

A2. Factores climáticos generales asociados / 219

- A2.1. Cambios en los factores climáticos según los SSP-RCPs
- A2.2. Modelos climáticos marinos

A3. Los modelos agroalimentarios en el estado español / 223

- A3.1. Situación actual "Baseline" (modelo base)
 - A3.1.1. Usos del suelo y distribución de cultivos y producciones
 - A3.1.2. Uso de insumos
 - A3.1.3. Capturas pesqueras y acuicultura
 - A3.1.4. Consumo alimentario
 - A3.1.5. Comercio internacional
 - A3.1.6. Desperdicio alimentario y pérdidas
- A3.2. Modelo "Business As Usual" (BAU)
 - A3.2.1. Usos del suelo y distribución de cultivos
 - A3.2.2. Gestión de residuos de cosecha
 - A3.2.3. Regadíos
 - A3.2.4. Carga ganadera
 - A3.2.5. Uso de insumos en la agricultura
 - A3.2.6. Capturas pesqueras y producción acuícola
 - A3.2.7. Consumo alimentario
 - A3.2.8. Comercio internacional
 - A3.2.9. Desperdicio alimentario y pérdidas
 - A3.2.10. Envasado

- A3.3. Modelo de Transición ecológica (BIO+)
 - A3.3.1. Manejo de cultivos
 - A3.3.2. Usos de energía en agricultura y ganadería
 - A3.3.3. Manejo de superficies no cultivadas
 - A3.3.4. Ganadería
 - A3.3.5. Capturas pesqueras y producción acuícola
 - A3.3.6. Desperdicios y pérdidas
 - A3.3.7. Uso industrial en las cadenas alimentarias pesqueras
 - A3.3.8. Comercio internacional
 - A3.3.9. Envasado
 - A3.3.10. Consumo

A4. Metodología de cálculo de los indicadores / 234

- A4.1. Aspectos generales de la modelización
- A4.2. La producción de biomasa
- A4.3. Balances de nitrógeno y carbono
- A4.4. Balance hídrico
- A4.5. Huella hídrica
- A4.6. Insumos
- A4.7. Empleo
- A4.8. Huella territorial
- A4.9. Energía no renovable
- A4.10. Huella de carbono
- A4.11. Biodiversidad
- A4.12. Pérdidas y desperdicios en la cadena
- A4.13. Dietas
- A4.14. Revisión de productos contaminantes y tóxicos en la alimentación

A5. Límites del sistema / 251

A6. Referencias / 252

1. Introducción

De manera simultánea a esta transición nutricional que nos aleja de la dieta mediterránea hacia dietas globales (Popkin y Gordon-Larsen 2017), asistimos a la reconfiguración de las cadenas alimentarias, donde la característica fundamental es la deslocalización de los procesos productivos y comerciales vinculados al territorio hasta generar largas cadenas globalizadas que se interconectan y generan dependencias altamente vulnerables a nivel internacional y geopolítico (Popkin, 2017; Friendland, 2004; Friedman, 1995). De esta manera, aspectos como el tejido económico local, el empleo, la identidad cultural o los propios saberes tradicionales vinculados a la producción y el consumo han ido progresivamente desapareciendo y siendo sustituidos por conocimientos técnicos carentes de lógicas adaptadas al territorio, que imponen fuertes sesgos en favor de la productividad y el abastecimiento de canales internacionales por encima de la capacidad productiva y de abastecimiento al territorio cercano. La intensificación, especialización geográfica y tecnificación han sido las herramientas para la implantación de un modelo productivo donde los agroecosistemas son meros receptáculos de prácticas industriales.

La agricultura familiar, la ganadería extensiva y la pesca de artes menores, a pesar de ser generadores de servicios (agro)ecosistémicos de gran importancia, se encuentran altamente envejecidos y en progresivo retroceso, a lo que han contribuido políticas públicas orientadas principalmente hacia la rentabilidad y competitividad e incapaces de ver la insustentabilidad ecológica y social que está provocando el modelo industrial. Además de ello, la alta precarización del trabajo asalariado en el sector es alarmante, con alarmas regulares vinculadas a casos de semi-esclavitud (Caritas, 2020).

En la actualidad, sucesos como la COVID han mostrado la baja resiliencia de las cadenas de suministro (Rivera-Ferre et al., 2021). Las alarmas por agotamiento y contaminación en los acuíferos, la falta de lluvia en sistemas productivos de secano, la volatilidad de los precios de los alimentos, los incendios forestales, la pérdida de biodiversidad, los problemas de contaminación del Mar Menor, etc. son manifestaciones de lo que la ciencia viene indicando a escala global: de los nueve límites planetarios (Rockstrom et al. 2009; Richardson et al. 2023), cinco están íntimamente relacionados con el sistema agroalimentario y seis se encuentran ya superados (Campbell et al., 2017, Gerten et al., 2020).

Existen alternativas que inciden simultáneamente en la transformación del sistema alimentario con beneficios para la salud humana y los ecosistemas (O'Rourke et al., 2017). En los sistemas productivos terrestres, la agroecología viene demostrando su capacidad transforma-

dora a través de manejos que tienen en consideración la capacidad productiva de los agroecosistemas de manera sostenible (Wezel et al., 2020, Aguilera et al., 2020). Además, cada vez más se demuestra el potencial de mejorar las rentas, el empleo y la viabilidad económica cuando se articulan las transiciones a escalas adecuadas (van der Ploeg et al., 2019; Rivera-Ferre et al., 2023; Mouratiadou et al., 2024; Verkuil et al., 2024), integrando ganadería y agricultura, a la par que manejando los recursos locales para optimizar la reposición de la fertilidad sin menosabar la producción, y optimizando el uso de recursos al borde del colapso como el agua (Aguilera et al., 2020). En los sistemas productivos marinos también existen propuestas que abogan por la reconversión del sector hacia una pesca menos intensa sobre los ecosistemas marinos, respetando los ciclos de reproducción de las especies y adaptándose a la temporalidad de los productos (Villasante et al., 2021; O'Brien et al. 2024). Ambas propuestas son dos potentes instrumentos para impulsar la necesaria transición alimentaria en España, que sea capaz de abastecer las necesidades nutricionales y componentes esenciales para una dieta saludable sin menosabar los recursos productivos disponibles.

Ciertamente, la transición alimentaria es un campo de disputa política, donde las alternativas están atravesadas por posiciones confrontadas entre actores en defensa de su modelo. Así, desde la política institucional hasta los agentes económicos implicados, existe un ecosistema de actores que, movidos por sus intereses incluso encontrados, pugnan por imponer su modelo. En este contexto, este informe persigue generar conocimiento científico capaz de respaldar aquellas alternativas que ponen el foco en la sostenibilidad en todas sus dimensiones: ambiental, económica y social.

La pregunta de partida que se pretende responder en este informe es precisamente: *¿cómo se debería configurar el sistema alimentario en el futuro próximo para ser sostenible?* Para ello se propone realizar un análisis integral del sistema, considerando los aspectos relacionados con la salud, el empleo y la sostenibilidad ambiental, y realizando un ejercicio de proyección a futuro (2030 y 2050) considerando los escenarios climáticos y potenciales modelos agroalimentarios. Ello permite identificar los posibles impactos y beneficios socioambientales y, de esa manera, ayudar a la toma de decisiones.

Para ello, en este estudio se combinan escenarios globales climáticos (SSP) y modelos de variación climática (RCP) procedentes del El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que establecen distintas tendenciales en 2030 y 2050, con dos modelos de transición alimentaria a nivel estatal: (en inglés Business as Usual que denota seguir haciendo negocios como siempre, en adelante se utiliza (BAU)) y BIO+. El modelo Business as Usual (BAU) asume la continuidad del modelo alimentario actual, y el modelo BIO+ define un modelo sostenible y saludable de producción y consumo. Así, aunque a nivel mundial se puedan llevar a cabo unos u otros cambios socioeconómicos y políticos, vinculados a los SSP, éstos efectos sobre las proyecciones climáticas se combinan con las posibilidades que brindan los modelos a nivel estatal propuestos a continuación.

2. Metodología

2.1. Escenarios globales

Se han contemplado tres escenarios climáticos globales presentes en el 6º Informe de Evaluación (AR6) del IPCC (IPCC, 2021), explicados en el apartado metodológico de manera detallada ([Anexo metodológico](#)). Estos se basan en una serie de configuraciones socio-económicas, políticas y culturales a escala internacional que tienen efectos sobre la evolución climática global (O'Neill et al., 2017; Riahi et al., 2017) y, a su vez, predicen el recorrido de magnitudes como la temperatura, la pluviometría, la acidificación de los mares, etc. Se trata de los Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) y los Representative Concentration Pathways (RCPs), de los que se han seleccionado tres, específicamente, "sustainable pathway" (SSP1-RCP2.6), "local stewardship" (SSP2-RCP4.5) y "world markets" (SSP5-RCP8.5).

El escenario SSP1-RCP2.6 es el escenario más optimista desde el punto de vista de la sostenibilidad, donde el planeta transita hacia una transformación que permite limitar el aumento de la temperatura global a 1,3-2,4 °C para 2040 y reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) mediante la reducción del uso de recursos naturales, la disminución del uso de energía y una rápida transición hacia tecnologías y energías limpias y renovables. Las políticas públicas están orientadas a la conservación ambiental, el bienestar social y el uso sostenible de los recursos. El sistema alimentario global se reorienta hacia la priorización de la distribución equitativa de alimentos, la producción sostenible, la conservación de la biodiversidad y la resiliencia climática.

En el caso del escenario SSP2-RCP4.5, sigue la misma tendencia socioeconómica y tecnológica actual sin grandes cambios significativos. El desarrollo y el crecimiento prosiguen desigualmente entre países, mientras que la cooperación para este progreso avanza pero lentamente hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Existen ciertas mejoras optimizando la intensidad de uso de recursos y energía, que permiten reducir globalmente la huella medioambiental, mientras que la previsión de incremento de temperatura global es de entre 2,1-3,5 para 2040 °C. Este escenario global equilibra el crecimiento económico moderado con la conservación ambiental.

Por último, el SSP5-RCP8.5 se encuentra principalmente asociado a una aceleración económica apoyada en un progreso tecnológico acelerado, siendo el más pesimista con un mundo altamente globalizado y orientado hacia políticas de libre mercado, donde el

crecimiento económico es la principal prioridad, sin tener en consideración la sostenibilidad ambiental o social a largo plazo. La temperatura se estima en 3,3-5,7 °C para 2040 y el sistema alimentario sigue enfocado en gran medida en el comercio internacional, ya que la disminución de las capturas y la producción agrícola no logran satisfacer la demanda. Las desigualdades sociales y económicas se profundizan, con los beneficios concentrándose en manos de grandes actores corporativos, dejando a las comunidades locales en una situación de vulnerabilidad. La pérdida de biodiversidad se acelera, poniendo en peligro no solo la viabilidad de las actividades productivas agrarias y pesqueras a largo plazo, sino también la resiliencia de los ecosistemas ante los impactos del Cambio Climático (CC).

Con vistas a facilitar el entendimiento, se ha optado por presentar el valor del escenario intermedio (SSP2-RCP4.5) en la mayor parte de los datos, haciendo mención explícita en el caso de identificarse valores significativamente distintos entre escenarios, en cuyo caso se hace alusión explícita a los escenarios SSP1-RCP2.6 y SSP5-RCP8.5.

2.2. Modelos de transición

En este estudio se combinan los escenarios globales descritos con anterioridad con dos modelos de transición alimentaria a nivel estatal: Business as Usual (BAU) y BIO+, que son comparados sistemáticamente con el escenario actual (baseline o base). Así, aunque a nivel mundial puedan estar ocurriendo unos u otros cambios socioeconómicos y políticos vinculados a los SSP, estos efectos sobre las proyecciones climáticas se combinan con las posibilidades que brindan los modelos a nivel estatal propuestos a continuación. Cabe indicar que se ha establecido que el cambio demográfico es equivalente para todos los modelos de transición, tomando para ello los datos de proyección poblacional del INE (2024).

2.2.1. Situación actual: baseline

Se ha realizado un diagnóstico del modelo productivo español actual basándose en los datos medios 2017-2022 de las estadísticas agrarias y pesqueras, para identificar la producción agrícola y ganadera, y las capturas pesqueras (en este caso se ha utilizado el periodo 2017-2020 para el cálculo de la media). Adicionalmente se han combinado dichas estadísticas con resultados de investigaciones previas, para conocer el funcionamiento metabólico del sistema alimentario actual. Por otro lado, se ha combinado esta información productiva con los flujos comerciales identificados a partir de FAOSTAT¹ de importación y exportación. Para una ampliación de la base estadística y metodológica sobre la que se ha configurado la situación actual, dirigirse al [anexo metodológico](#).

¹ Base de datos estadística de la Organización Mundial para la Alimentación (FAO) [Aquí](#)

2.2.2. Modelo “Business As Usual” (BAU)

En este modelo se asume que España no realiza cambios socioeconómicos significativos en el sistema alimentario y mantiene su tendencia actual en los hitos temporales proyectados: 2030 y 2050. Para ello se asume la misma distribución de los usos del suelo y tipos de cultivo del periodo de referencia, con un crecimiento lineal de la agricultura ecológica. Asimismo, se asume el mantenimiento de la estructura y reparto de los tipos de regadíos por cultivo y provincia. En cuanto a los insumos, se ha asumido la misma tasa de aplicación que en la actualidad en manejo convencional, estando la cantidad total aplicada influída solamente por los porcentajes de superficie convencional y ecológica. En el caso de la cabaña ganadera, se asume la continuidad de la cabaña existente en la actualidad, que manifiesta un estancamiento en su crecimiento durante el periodo de referencia, pero que a su vez definirá la demanda de alimentos para sus cadenas de valor. Las capturas siguen la misma tendencia observada en la serie histórica de capturas marinas, mientras que para el caso de la producción acuícola se proyecta la producción global de la maricultura bajo distintos escenarios globales (SSP-RCPs) conforme a la bibliografía disponible.

El comercio internacional se ha ajustado para mantener los niveles de consumo per cápita de alimentos y la demanda de piensos de la actualidad, tanto de la cabaña ganadera como de la población. En el caso de las importaciones pesqueras se ha utilizado de nuevo la tendencia de la serie histórica de MAPA (2024a) aplicada a los datos de comercio de EUMOFA (2024b).

Se asume que en este modelo la gestión de los residuos de cosecha se mantienen como en la actualidad, con porcentajes de quema obtenidos del Inventario Nacional de Emisiones y de cosecha del Anuario de Estadística Agraria (MAPA, 2025). Por otro lado, las pérdidas y desperdicios alimentarios permanecen inmutables en los dos hitos temporales, estimados como un porcentaje con respecto a la disponibilidad bruta en cada eslabón de la cadena, siguiendo con la metodología de Gustavsson et al. (2011).

Se estima la fracción de productos frescos que se comercializan envasados en base a la penetración de los canales de venta tipo supermercados, hipermercados y grandes superficies con respecto al consumo en los hogares indicado por el Panel de Consumo Alimentario (MAPA, 2023) mientras que los productos procesados para consumo humano se comercializan todos ellos envasados.

2.2.3. Modelo de Transición ecológica (BIO+)

En este modelo se asumen una serie de transformaciones que toman en consideración la transición hacia un sistema alimentario sostenible y saludable, con una base científica que respalda dichas decisiones.

Para el hito 2030 se asume el proceso intermedio de transición del objetivo establecido para 2050. Se asume que para este segundo hito ocurre la conversión a manejo ecológico al 100% de la superficie cultivada, combinado con la generalización de una serie de prácticas que contribuyen a incrementar su sostenibilidad, utilizando variedades tradicionales de cereales de invierno (avena, cebada y trigo) ya desde 2030. Se implementa el uso progresivo de cubiertas vegetales en todos los cultivos leñosos y en el periodo intercultivo de cultivos herbáceos de regadío, de las cuales el 80% son semilladas en los cultivos leñosos para 2030 y se mantiene constante dicho porcentaje de semillado para 2050. Asimismo, se aplica la sustitución de barbechos blancos a cultivos de leguminosas en el caso de secano, y a hortalizas, remolacha y patata en el caso del regadío, alcanzando un 100% de sustitución en 2050.

En cuanto a la gestión de la biomasa, se asume la eliminación de la quema de residuos de cosecha en favor de su uso para alimentación animal y su incorporación al suelo, y la distribución entre cultivos del estiércol y otras enmiendas orgánicas con la excepción de las leguminosas, que no recibe dichos componentes. En relación con la fertilización, se asume la incorporación al suelo de los fertilizantes orgánicos en el momento de ser aplicados para 2030.

En materia de riego, se limita el uso de agua en el regadío en base a la cantidad de agua que puede usarse en el regadío según lo definido por las Demarcaciones Hidrográficas para no superar el umbral de tensión para 2050. Para no superar estos límites, en las provincias y cortes temporales donde se estima un consumo de agua superior se ha transformado a secano la superficie irrigada lo necesario para no superar el límite, limitando con el siguiente orden de prioridad: en primer lugar se transforma a secano la superficie cultivos (excluyendo leguminosas) cuya producción se destina a pienso para la cabaña ganadera, y que se riegan con sistemas de riego distintos al tradicional (aspersión o goteo). De ser necesarias restricciones adicionales, se limita el resto de superficies con cultivos destinados a piensos, incluyendo cultivos de leguminosas y sistemas de riego tradicionales. Adicionalmente se amplían las restricciones y cambios de irrigado a secano para olivar y almendro con sistemas de riego no tradicionales, y, si no se cumple la restricción hídrica, se amplía dicha restricción a olivar y almendro, incluyendo la eliminación del riego tradicional.

La superficie forestal se optimiza mejorando la disponibilidad de biomasa pastable y la retención de carbono atmosférico, aumentando un 20% la biomasa aérea producida en 2050 para disponer de un aprovechamiento silvopastoril y prevenir incendios con contenidos de carbono en la biomasa forestal en el BIO+ similares al de los escenarios BAU. Esto se realiza alcanzando una reducción en la densidad

forestal en aquellas zonas donde no se produce suficiente pasto, a la par que se incrementa la frondosidad en aquellas zonas donde existe potencial de captura.

La carga ganadera de los distintos usos del suelo se ajusta a la biomasa potencialmente pastable, de modo que el aprovechamiento de los pastos se incrementa hasta su máximo nivel sostenible en 2050. En este sentido, se implementa una mejora del manejo de pastos, incrementando un 10% su producción de biomasa respecto a la productividad para 2050 lo que supone un mayor aporte de carbono al suelo. El tamaño de la cabaña ganadera vendrá definido por la capacidad del territorio de alimentar al ganado, lo que depende a su vez de la disponibilidad de los componentes de las dietas de las distintas cabañas ganaderas. Para diversificar la cabaña, la producción y el consumo de productos de origen animal dentro de los rumiantes se priorizan hacia los pequeños rumiantes, y dentro de los monogástricos se priorizan hacia las aves. Se asume la eliminación de la ganadería intensiva para 2050.

Se asumen las mejores prácticas en cuanto a uso eficiente de la energía. Para ello, se asume la implementación al 100% para 2030 de la reducción del laboreo. En cuanto al uso de maquinaria agrícola, se implementa el uso de biocombustible procedente de la cebada, eliminando el uso de combustible de origen fósil. En el caso del regadío y la ganadería se asume la utilización de energía solar al 100% para 2030. En este modelo, toda la pesca de arrastre, el palangre de superficie y la pesca industrial (que incluye los grandes buques congeladores de arrastre y cerco) va desapareciendo progresivamente, a un ritmo tal que en el 2030 se reduce el 30% de su uso actual y en 2050 se elimina completamente. En el caladero nacional se ha aplicado una reducción del 45% de la pesca de arrastre en el hito 2030, basándonos en la restricción de días de pesca propuesto por la Comisión Europea en el Plan de Gestión de especies demersales, que ha pasado de permitir 240 días de pesca en 2019 a reducirlo a 130 en 2024 (CE 2019/1022).

Para 2050 se aplica una reconversión de la flota de arrastre hacia la flota de artes menores, suponiendo que el 55% del volumen de las capturas con arrastre se reasignan a los artes menores. La producción acuícola se limita a la producción de mejillones y otros bivalvos, eliminando la acuicultura de especies piscívoras en los dos hitos temporales de 2030 y 2050.

Se asumen cambios en la fracción que se desperdicia para 2050 progresivamente, implementando la recuperación de los principales residuos de agroindustria (orujo de uva de las bodegas y alperujo de aceituna de las almazaras) y de los residuos orgánicos urbanos para su aplicación al suelo (compostaje). Por otro lado, se asume una reducción del desperdicio alimentario a la mitad y del 66% en el desperdicio de piensos. Respecto a los descartes pesqueros, se reducen sin llegar a desaparecer conforme a un criterio de sostenibilidad definido por el grupo de autores, y cotejado con un grupo de expertos vinculado a Alimentta. Los valores se refieren a una reducción paulatina (2030: -25%, 2050: -50%).

Se restringen las importaciones progresivamente hasta eliminarlas plenamente en el 2050. Se prioriza el consumo saludable a partir de la disponibilidad bruta, por lo que las exportaciones en este caso se restringen al excedente, es decir, se exportará tanto volumen de productos como resulte excedente una vez se hayan cumplido las expectativas de un consumo alimentario saludable. En este modelo de transición se establecen una dieta saludable proponiendo la reducción del consumo de azúcar un 50%, el incremento del consumo de hortalizas en el doble (+100%), el de frutas se incrementa un 50%, y el de legumbres se triplica (+200%) para el hito 2050, siendo un punto intermedio en el 2030. Para el caso de los productos de origen animal, se ciñen a las recomendaciones de la dieta saludable EAT-Lancet y, en el caso del pescado, a la disponibilidad final. Se mantienen importaciones de alimentos que no pueden ser producidos aquí y forman parte habitual de la dieta (café, té, especias, etc.), que serían de comercio justo y producción ecológica. Se estima que los productos frescos se comercializan sin envasado mientras que los productos procesados para consumo humano se comercializan envasados en ambos hitos temporales.

2.3. Aproximaciones metodológicas a los indicadores

2.3.1. Modelización

La modelización de todos los indicadores de los agroecosistemas ha partido de un detallado análisis de inventario de todas las entradas y salidas de materiales, energía, carbono, nitrógeno y emisiones realizada a nivel provincial, del uso del suelo (cultivos, pasto y matorral, dehesa, bosque de coníferas, bosque de frondosas y otros usos), de los manejos (ecológico o convencional), cultivos (134 tipos de cultivo), categorías (secano, regadío al aire libre e invernadero) y tipo de riego (tradicional,aspersión,goteo y cultivos inundados), y en el caso de la ganadería, a nivel de provincia y de especie animal, durante el periodo de referencia (2017-2022), salvo la pesca, que utilizan el rango 2017-2021. Las huellas ambientales calculadas a nivel de cultivo y animal se han trazado a través de las cadenas de valor, combinando estos datos provinciales con datos a nivel nacional de producción de procesados, de destino de los productos agropecuarios, pesqueros y procesados, y de comercio exterior bilateral de todos los productos agropecuarios y pesqueros, obtenidos principalmente de FAOSTAT.

Para el cálculo de las huellas ambientales de las dietas se ha seguido un enfoque de ciclo de vida, cuantificando todos los impactos directos y derivados de la producción de insumos. Se ha seguido un

criterio de asignación económica para distribuir emisiones en procesos multiproducto (como paja y grano en el cultivo de cereal, leche, carne y pieles en la cría de vacuno, o torta y aceite en el procesado de semilla de girasol) distribuyendo las emisiones proporcionalmente al valor monetario de los coproductos.

Para modelar la proyección del esfuerzo pesquero se ha cuantificado la capacidad de los buques (GT) potencia (expresada en kW), y el número de barcos, cuyos datos proceden de la estadística pesquera del Ministerio de Agricultura (MAPA, 2024b). Ambos indicadores se han relacionado con las capturas según arte de pesca y caladero, obteniendo valores por producto, por lo que siguen la misma tendencia que estas.

2.3.2. Productividad Primaria Neta y balances de nitrógeno y carbono

Se ha partido de la productividad primaria neta (PPN, ver [anexo metodológico](#)) para identificar las configuraciones específicas de funcionamiento en los agroecosistemas y el mantenimiento de las poblaciones heterótrofas, lo que incluye no sólo la propia producción sino las fracciones de crecimiento y acumulación aérea y radicular de las plantas. Los cambios en los rendimientos productivos y en la biomasa de plantas no cultivadas se han estimado a partir de un modelo adaptativo en función de las variables climáticas proyectadas.

Los balances de nitrógeno se han estimado en base a la metodología descrita en Aguilera et al. (2021a), cuantificando por un lado todas las entradas en forma de fertilizantes orgánicos y sintéticos, depósito atmosférico, y fijación biológica de nitrógeno, y por otro lado todas las salidas en forma de producto, residuo cosechado, biomasa pastada, biomasa quemada, volatilización de amoníaco, nitrato lixiviado y pérdidas gaseosas. En el caso del carbono, se modelizó el balance en suelo a partir de los aportes de distintas fuentes de carbono y las condiciones climáticas que influyen en las tasas de emisiones. También se incorpora en este informe la medición de los balances de carbono de la biomasa forestal siguiendo el modelo GOTILWA+ (Nadal-Sala et al., 2013).

2.3.3. Balance hídrico y huella hídrica

Se ha estimado el balance hídrico en función de la demanda de los cultivos y la disponibilidad de agua, tomando en consideración la evapotranspiración, que será dependiente de los factores climáticos en los escenarios contemplados (precipitación) y los suelos y manejos (profundidad de las raíces, PPN, capacidad de retención de agua en el suelo, etc.). Asimismo, se analiza la huella hídrica a nivel de cultivo, estimado como el sumatorio de la huella hídrica azul (riego), verde (precipitación) y gris (cantidad necesaria para diluir contaminantes).

2.3.4. Empleo

Se ha cuantificado la mano de obra en Unidades de Trabajo Anual (UTAs). Para estimar la mano de obra en los distintos escenarios se sigue la metodología desarrollada por Rivera-Ferre et al. (2023).

En el caso de la pesca se han utilizado los datos originales históricos procedentes de las series de la estadística pesquera del Ministerio de Agricultura (MAPA, 2024a), y se han atribuido proporcionalmente a cada producto según el arte de pesca utilizado, obteniendo datos de mano de obra asociada a cada tonelada de producto, permitiendo esto las proyecciones a futuro.

2.3.5. Huella territorial

La huella territorial se calculó a partir de la superficie ocupada por cada cultivo y uso del suelo, y de los productos obtenidos de esas superficies, trazando las hectáreas a lo largo de la cadena siguiendo la metodología general de cálculo de huellas ambientales descrita en la explicación de la modelización (ver [anexo metodológico](#)). En el caso de los productos importados se siguió una metodología similar pero aplicada a todos los países del mundo, usando datos de rendimientos de FAOSTAT y estimando la ingesta animal según la metodología descrita en Bruckner et al. (2019), que se basa en la demanda de los animales, siguiendo los métodos de Krausmann et al. (2013) y Bouwman et al (2013).

2.3.6. Energía no renovable

La energía no renovable se ha estimado a partir del uso de cada tipo de insumo y de coeficientes de energía no renovable incorporada en cada insumo. Estos coeficientes se han obtenido de Aguilera et al. (2015c) y de Ecoinvent y otras bases de datos mediante el software SimaPro. Posteriormente, estas huellas de energía se han trazado a lo largo de la cadena siguiendo la metodología general de cálculo de huellas ambientales descrita en la sección de modelización ([anexo metodológico](#)).

2.3.7. Emisiones de gases de efecto invernadero

Para el cálculo de la huella de carbono se han considerado todas las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto directas como indirectas y sumideros. Así, se contabilizan las emisiones realizadas en las granjas y campos de cultivos, pero también aquellas que tienen lugar durante la fabricación de insumos agrícolas y ganaderos, incluidos aquellos productos importados. Del mismo modo, se han incorporado las emisiones asociadas a los cambios en los stocks de carbono en la biomasa forestal y en los suelos. En el conjunto de las cadenas alimentarias también se han incluido las emisiones asociadas al procesamiento, distribución y consumo alimentario, así como las asociadas a la gestión de los residuos.

En el caso de la pesca se han utilizado coeficientes asociados a artes de pesca y sectores pesqueros concretos basados en la bibliografía existente (Avadí et al., 2013; Iribarren et al., 2010; Iribarren et al., 2011; Schau et al., 2009; Muñoz et al., 2023; Chassot et al., 2021). Adicionalmente hemos complementado los coeficientes con los valores de referencia disponibles en Ecoinvent 3.7.1 cut-off, lo que implica que los residuos generados en el caso de la pesca son asignados a la producción (Ecoinvent, 2019). Estos valores han sido utilizados también en los impactos asociados a los procesamientos industriales (congelado, conserva y fabricación de procesados congelados, como los palitos de merluza), complementando dichos coeficientes con la base de datos Agrivalyse 3.2 en cada caso. Para el caso de productos importados se han cribado aquellos productos de los que se conoce que su forma de producción procede de la acuicultura, aplicando a éstos el mismo coeficiente de emisiones en la producción que en otros países de referencia, procedentes de Avadi et al. (2019). En acuicultura se han utilizado coeficientes de emisiones reportados en la literatura científica (Iribarren et al., 2011; Abdou et al., 2017; MacLeod et al., 2019; d'Orbcastel et al., 2009; Gonzalez-Garcia et al., 2018).

Para el caso del transporte, se han identificado los modos mayoritarios de transporte desde los países desde los que se importan productos hacia España, recogiendo información del 80% del volumen importado desde la base de datos de comercio exterior del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (COMEX). Estos indican el transporte mayoritario (marítimo, carretera o aéreo). Se han reconstruido coeficientes ponderados, considerando la intermodalidad del transporte internacional según el país de origen y medios de transporte utilizados, la obtención de los cuales se explica con mayor detalle en el [anexo metodológico](#).

3. Resultados

3.1. La organización del sistema alimentario

3.1.1. La superficie agrícola

La superficie agrícola cultivada (SC) modelada para los hitos temporales se mantiene constante en términos totales con respecto a la actualidad, en 17,2 millones de hectáreas (ha), pero se producen diferencias en la distribución de cultivos en el modelo BIO+ (Figura 1).

Los cultivos con mayor extensión en España en la actualidad (baseline o base) son los cereales (6,1 millones de ha) seguido del olivar (2,6 millones de ha), que suponen el 35% y el 15% de la SC. Cabe destacar que un 17% de la SC es ocupada por barbechos, principalmente blancos (2,9 millones de ha). También destaca la producción de forrajes en verde para la cabaña ganadera, que ocupan el 7% de la SC (1,2 millones de ha), así como los viñedos, los frutos secos y las oleaginosas, con 5% cada uno. En el caso de las leguminosas, ocupan solo un 3% de la superficie cultivada (0,56 millones de ha), y los hortícolas, frutales o cítricos ocupan un 2% cada uno.

En el modelo continuista BAU no hay cambios respecto a baseline en el reparto de la SC entre los distintos cultivos. Sin embargo, en el modelo de transición BIO+ se producen cambios importantes derivados de la asunción de la puesta en producción progresiva de las superficies de barbecho, que se explica en detalle en el [anexo metodológico](#). Estos cambios influyen principalmente a las leguminosas, que en el caso del modelo BIO+ asciende a 1,1 millones de ha (6% de la SC) para 2030, y a 3,2 millones de ha para 2050 (18% de la SC). Esto supone un incremento del 92% para 2030 mientras que para 2050 supone llegar a 5,6 veces la superficie utilizada en baseline. Asimismo, en el modelo BIO+ se incrementa la superficie dedicada a hortalizas, llegando a 0,64 millones de ha en 2050 (4% de la SC). Esto supone un incremento del 71% de su superficie para 2050. El papel fundamental

que tienen las leguminosas, tanto en su valor agronómico como nutricional, forma parte del modelo BIO+ como un pilar fundamental de la transición agroalimentaria en España. Asimismo, las hortalizas son otro de los pilares fundamentales de la alimentación mediterránea, y como tal el incremento de su superficie es incorporado como asunción dentro del modelo BIO+.

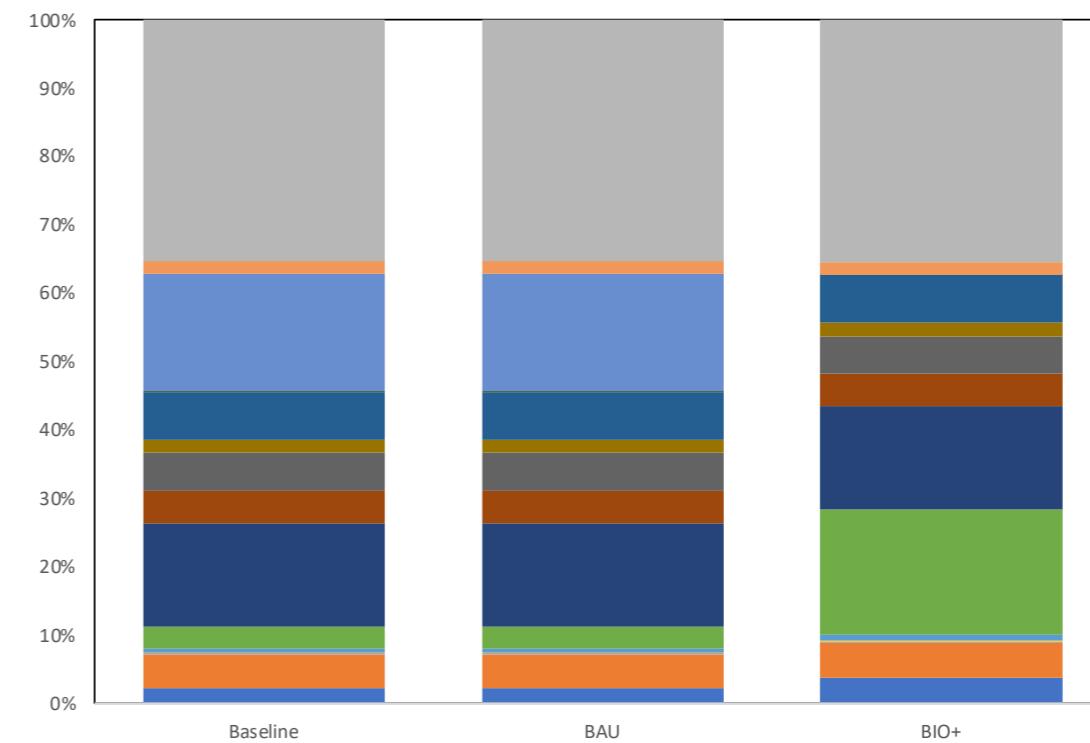


Figura 1
Reparto de la superficie cultivada (SC) en términos relativos, en la actualidad (base), el modelo BAU y el modelo BIO+, para 2050.

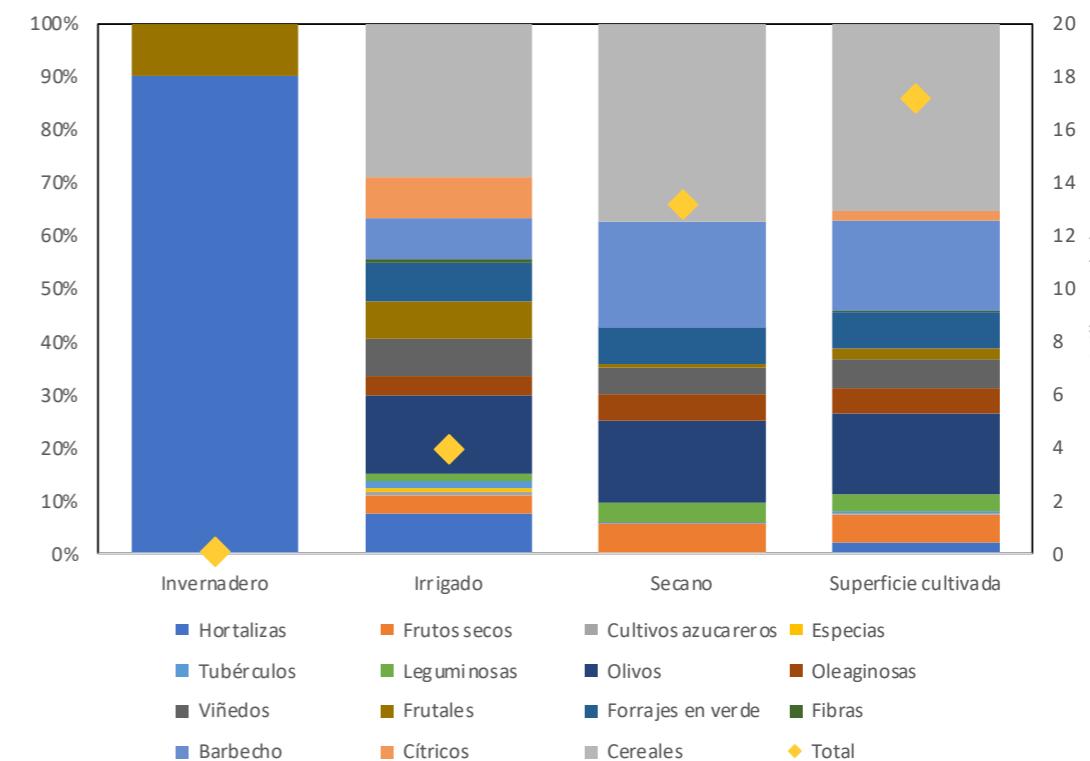


Figura 2
Reparto de la superficie cultivada (SC) en términos relativos según su sistema de regadío, en la actualidad (base). En el eje izquierdo se representa el porcentaje sobre la superficie de cada grupo (barras), y en el eje derecho el número de hectáreas (línea y puntos amarillos).

En la actualidad, el 77% de la SC se encuentra en régimen de secano (13,2 millones de ha), seguida de la superficie irrigada al aire libre (23%, 3,9 millones de ha), y de la superficie bajo invernadero (<1%, 70.000 hectáreas) (figura 2).

Actualmente, la superficie bajo invernadero se concentra principalmente en hortícolas (90%, 64.000 ha), y frutales (10%, 7.000 ha) (figura 3). En el caso del regadío al aire libre, los cereales presentan la mayor superficie, con el 29% de ella en regadío (1,1 millones de ha), seguida del olivar (15%, 0,58 millones de ha) cítricos, hortícolas, viñedo, frutales y cultivos forrajeros (7-8%, 0,29 millones de ha cada grupo). En lo que se refiere a cultivos en secano, la mayor parte de la superficie está asociada a cereales (37%, 4,9 millones de ha), seguido de barbechos (20%, 2,6 millones de ha), y olivar (15%, 2,0 millones de ha).

Por cultivos, en régimen de secano destacan los barbechos (90% de su superficie en secano, aunque en sí no sean cultivos), las leguminosas (90%), los frutos secos (84%), y las oleaginosas (83%).

De toda la superficie destinada a hortalizas, el 17% de ésta se encuentra en invernaderos, mientras que el 78% se encuentran irrigados y el 5% en secano. Los cítricos presentan toda su superficie en régimen de irrigación al aire libre, seguidos de los cultivos azucareros, con el 95% de su superficie irrigada.

En el modelo BIO+ se ha reducido la superficie irrigada mediante su transformación a secano para cumplir con la capacidad de abastecimiento máximo de agua disponible a nivel provincial. La restricción de los cultivos ha seguido un árbol de decisiones (véase el [anexo metodológico](#)) que prioriza los cultivos para alimentación humana, las leguminosas y el riego tradicional. Todo ello hace que el modelo BIO+ presente en 2050 una reducción de 3.200 ha en invernaderos y de 163.000 ha de regadío al aire libre.

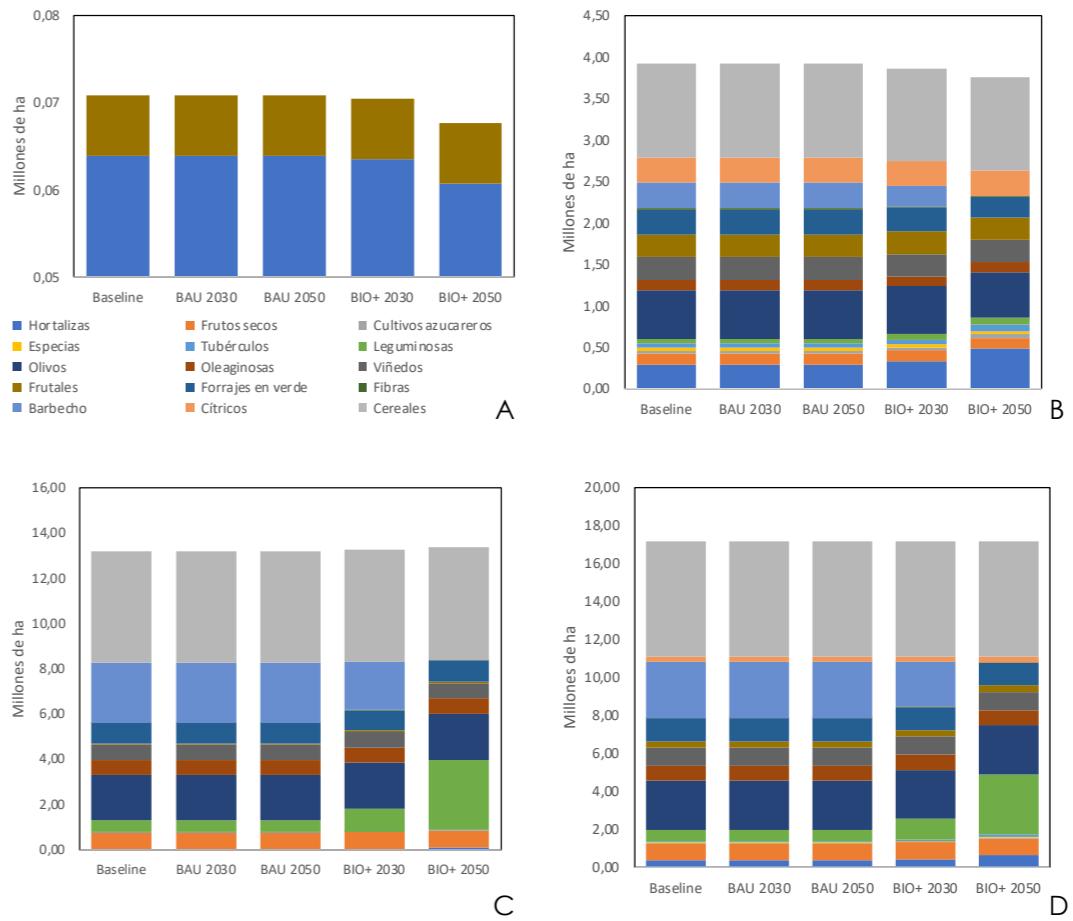


Figura 3
Distribución de la Superficie Cultivada (SC) según el tipo de riego y cultivo.
A) indica la SC irrigada en invernadero, B) la SC en secano, C) la SC en irrigación no cubierta y D) el conjunto de la SC.

En cuanto al manejo de los agroecosistemas, los modelos de transición propuestos tienen en consideración un incremento de la superficie de cultivo ecológica. Mientras que en el modelo BAU el incremento se realiza de manera lineal basándose en la tendencia de los últimos 10 años (130.000 ha/año), en el caso del modelo BIO+ se plantea un incremento gradual hasta alcanzar el 100% de la SAU para 2050. Cabe destacar que este crecimiento se aplica sobre toda la Superficie Agraria Útil (SAU), que incorpora los pastos y otras superficies no cultivadas, si bien en la figura 4 se restringe el análisis a la SC, por ser la más relevante en cuanto al papel del manejo.

En la actualidad se estima una superficie ecológica de un millón de ha, lo que representa el 6% de la SC. Esta superficie está ocupada principalmente por cereales (21%, 212 mil ha), olivares (20%, 209 mil ha) y frutos secos (18%, 180 mil ha). Asimismo es relevante la superficie de barbechos (16%, 162 mil ha) y viñedos (12%, 121 mil ha). Para el hito 2030, el modelo BAU presenta un 17% de su superficie en ecológico (3 millones de ha), y en el hito 2050, la superficie ecológica asciende al 28% (4,8 millones de ha). En lo que se refiere al 2030 para el modelo BIO+, la superficie SC bajo manejo ecológico asciende al 22%, lo que suponen 3,7 millones de ha, y en el hito 2050 esta superficie ecológica asciende al 100%.

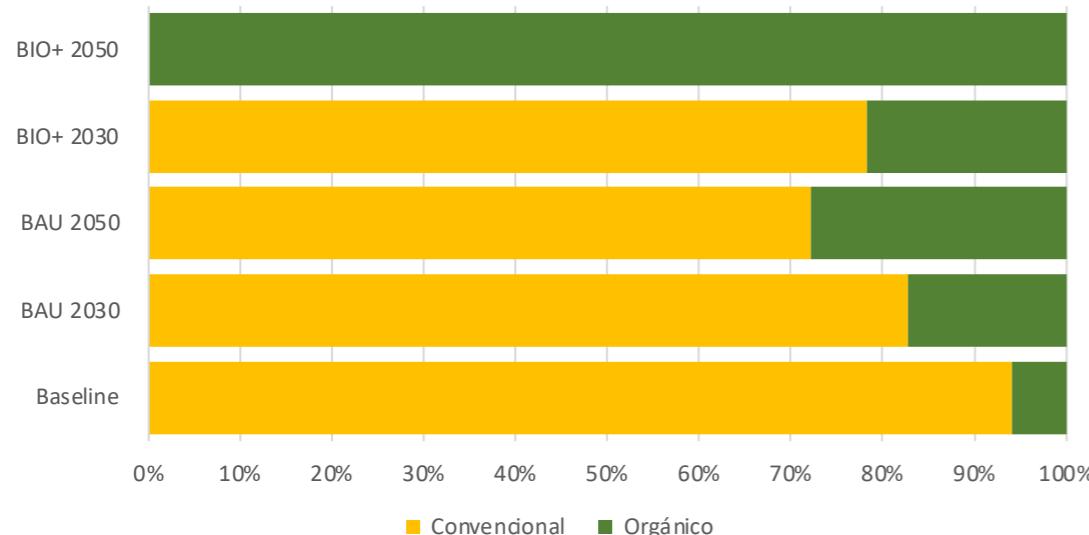


Figura 4
Distribución de la superficie cultivada, según el tipo de manejo (ecológico o convencional).

3.1.2. La superficie no cultivada

Hasta ahora hemos comentado la superficie agrícola cultivada, pero la Superficie Agraria Útil (SAU) incluye también los bosques y pastos que ocupan el territorio. Así, para el baseline (2017-2022) existían 4,9 millones de ha de monte abierto (mayoritariamente dehesas), 13,3 millones de ha de pastos y 15,1 millones de ha asociadas a distintos tipos de bosques. Todas estas superficies se encuentran catalogadas como en secano. Las asunciones realizadas para ambos modelos (BIO+ y BAU) no asumen cambios en la ocupación de dichas superficies, por lo que permanecen constantes para 2030 y 2050. No obstante esto, el modelo BIO+ contempla la transformación de las superficies forestales para transitar hacia modelos extensivos silvopastoriles, clareando los bosques más densos para optimizar el crecimiento de especies arbustivas para pastar, sin menoscabo de su capacidad mitigadora del cambio climático (ver [anexo metodológico](#)).

3.1.3. La producción agrícola

Actualmente, la producción agrícola, expresada en materia fresca, asciende a 97,5 millones de toneladas, de las que la mayor producción está asociada a los forrajes en verde (27%, 26,4 millones de toneladas), los cereales (23%, 22,7 millones de toneladas), y las hortalizas (16%, 15,2 millones de toneladas). El 55% de esta producción procede de cultivos en regadío (53,8 millones de toneladas), seguidas de las producciones en secano (39%, 38,4 millones de toneladas) y el 5% de la producción procede de cultivos en regadío bajo invernadero (hortalizas y frutales), lo que supone 5,2 millones de toneladas (figura 5).

La mayor producción ocurre en cereales de secano, con 14,4 millones de toneladas (15% de la producción agraria), seguido de la producción de forrajes en verde en secano (13% de la producción agraria, 13,6 millones de toneladas). Asimismo, es relevante la cantidad de forrajes en verde que se producen en regadío, lo que supone el 13% de la producción total (12,7 millones de toneladas), y los hortícolas de regadío (10% de la producción total, 10,1 millones de toneladas).

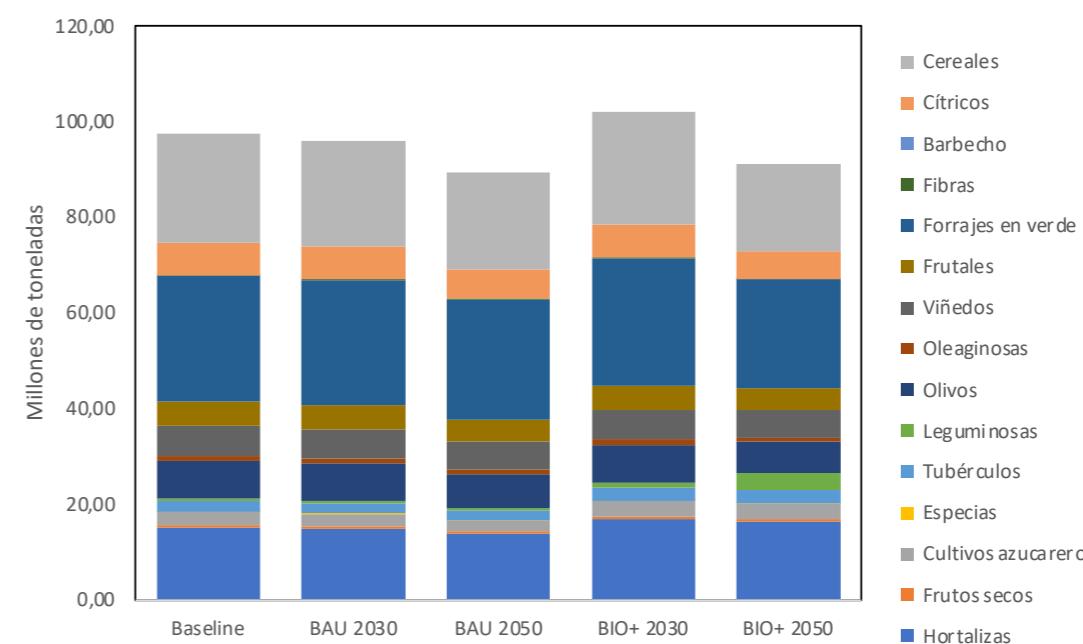


Figura 5
Producción en los distintos modelos de transición (BAU y BIO+), para los distintos hitos temporales.

El cultivo más producido en España es la alfalfa, leguminosa forrajera perenne fijadora de N, con 9,6 millones de toneladas, el 10% de la producción total, seguido de la cebada (cereal), con el 9% (8,5 millones de toneladas) y el olivar, con el 8% (7,7 millones de toneladas). En el caso de las hortalizas, el producto protagonista de la producción actual en España es el tomate, con 4,8 millones de toneladas producidas, seguido de la cebolla y el pimiento, con 1,4 y 1,4 millones de toneladas cada uno. En menor medida, aunque también importantes, son los cultivos de melón (1,2 millones de toneladas, 8% de la producción de hortalizas) y lechuga (1 millón de toneladas, el 6%). Cuando comparamos el comportamiento del sistema productivo en España,

tanto en *baseline* como en los hitos temporales y modelos analizados, observamos cambios sustanciales en la biomasa producida.

Por un lado, el modelo BAU arroja una caída en la producción en 2030 de 1,5 millones de toneladas hasta alcanzar las 95,9 millones de toneladas, un 2% menos. Esta caída resulta más drástica en la producción de invernaderos, donde se observa una caída del 4% hasta alcanzar los 5 millones de toneladas, y en los cultivos de secano, que presentan una caída del 2% hasta alcanzar los 37,6 millones de toneladas. En el caso de los cultivos de regadío, la caída es del 1% (53,37 millones de toneladas). En cuanto a categorías de cultivo, se observa una caída de la producción del 6% para cultivos azucareros, del 5% para oleaginosas y del 4% en tubérculos y fibras. Los cereales, caen un 3% en su producción.

Del otro lado, para el modelo BIO+ observamos un incremento en la producción de biomasa hasta alcanzar las 102,2 millones de toneladas para 2030, es decir, un 5% mayor que en *baseline*. En este caso, mientras que la producción en invernadero cae un 4% hasta alcanzar 5 millones de toneladas, en regadío y secano crecen un 5%, con 56,7 y 40,4 millones de toneladas respectivamente. Los cambios vinculados a la ampliación de los cultivos leguminosos duplican su producción en secano, hasta alcanzar 1,05 millones de toneladas, mientras que en regadío estos cultivos incrementan un 17% su producción hasta alcanzar las 130.000 toneladas. En el caso de las hortalizas, se observa el incremento de la producción en secano del 65%, lo que implica alcanzar 0,33 millones de toneladas. Asimismo, también se presentan incrementos del 44% en tubérculos en secano, alcanzando 0,43 millones de toneladas.

Aunque para 2030 se observan cambios en la producción divergentes entre modelos derivados tanto en el efecto del cambio climático como en las asunciones vinculadas a los propios modelos, para el hito 2050 ambos modelos presentan una caída de su producción, precisamente por lo impactante de los efectos climáticos sobre los rendimientos. No obstante, se observa una menor caída en el modelo BIO+. Así, para 2050, el modelo BAU arroja un valor de 89,4 millones de toneladas, lo que supone un 8% menor producción que en *baseline*. El riego por invernadero mengua su producción un 10% pese a mantener su superficie de cultivos en este modelo, mientras que el cultivo irrigado y de secano reduce su producción un 8%, resultando en 4,7, 49,5 y 35,3 millones de toneladas respectivamente. La mayor caída en la producción es la asociada a los cultivos azucareros y los tubérculos, con caídas del 13% con respecto a la actualidad (2,4 y 1,9 millones de toneladas respectivamente), seguido de las oleaginosas (12% menor producción) y cereales (11% menor producción), con valores de 1 millón de toneladas y 20,3 millones de toneladas respectivamente.

En el caso del modelo BIO+ este efecto será del 6%, con lo que la caída productiva resulta menor, resultando en una producción de 91,2 millones de toneladas para 2050. Los cambios en los manejos agroecológicos, implementados en su totalidad para este hito, junto con los cambios en los usos del suelo, principalmente incorporando

mayor superficie en leguminosas y hortalizas y adaptando los regímenes de irrigación a la explotación sostenible de los acuíferos, resultan en cambios productivos importantes. Para el caso de los cultivos bajo invernadero, se observa una caída del 45% de la producción, derivado tanto de la reducción de la superficie dedicada como a los efectos del cambio climático, resultando en 2,9 millones de toneladas. Por categoría de cultivo, el descenso en la producción más abrupto se observa en las oleaginosas, que desciende un 25% con respecto a la producción actual, hasta alcanzar los 3,3 millones de toneladas, seguida de los cereales, que descienden un 19% su producción (18,3 millones de toneladas producidas) y del olivar, que presenta un descenso del 14% con respecto a la actualidad, produciendo 6,68 millones de toneladas. Para el caso de los cultivos de regadío, la caída en la producción es del 9%, resultando en 49,1 millones de toneladas, mientras que para los cultivos en secano se observa un incremento de la producción del 2%, resultando en 39,3 millones de toneladas producidas.

En cuanto a cultivos, se observa un incremento de la producción de 4,2 veces la producción actual en el caso de las leguminosas. Esta producción aumenta en base al incremento en leguminosas de secano, cuya producción resulta de 5 veces más, pero también de regadío, con 68% mayor producción que en *baseline*. Asimismo, mientras que en las hortalizas en invernadero la producción cae un 46%, las hortalizas producidas en regadío incrementan su producción un 29% y en secano un 260%. Esto supone 2,61, 13,0 y 0,73 millones de toneladas respectivamente. Los frutales también presentan una caída en la producción del 31% en invernaderos y del 10% en regadío al aire libre. Sin embargo, la producción de frutales en secano se incrementa un 7%, principalmente gracias a los cambios en los manejos (cubiertas vegetales y mayor incorporación de residuos, entre otros), que permiten amortiguar e incrementar la producción pese a los efectos del cambio climático. Esto resulta en 0,24, 4,0 y 0,28 millones de toneladas para invernadero, regadío y secano respectivamente. Todos estos cambios no son indicativos de ningún hecho si no se tiene en consideración los cambios en las superficies de cultivo y sistemas de irrigación.

	Baseline	2030		2050	
		BAU	BIO	BAU	BIO
Hortalizas	40.2	39.5	39.2	36.6	25.4
Frutos secos	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Cultivos azucareros	87.1	82.0	93.3	76.1	65.8
Especies	1.7	1.7	1.8	1.5	1.5
Tubérculos	31.9	30.7	32.4	27.8	22.7
Leguminosas	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Olivar	3.0	3.0	3.0	2.7	2.6
Oleaginosas	1.4	1.3	1.4	1.2	1.0
Vied	6.6	6.4	6.5	6.1	6.1
Frustules	15.0	15.1	15.2	13.9	13.5
Forrajes	22.0	21.8	22.2	21.0	19.2
Fibras	2.9	2.8	2.1	2.5	1.4
Cítricos	22.6	23.2	23.3	20.4	18.8
Cereales	3.7	3.6	3.9	3.4	3.0
Total	2.1	2.1	2.2	2.0	2.0

Tabla 1
Rendimientos de producción en los modelos de transición (BAU, BIO) y los hitos temporales 2030 y 2050, expresados en toneladas/hectárea.

3.1.4. Los rendimientos de la producción

En la actualidad, el rendimiento medio (producción por unidad de superficie) de la agricultura en España es de 2,1 t/ha (tabla 1). El mayor rendimiento obtenido es el de los cultivos azucareros, con 87,1 t/ha, seguido de las hortalizas, con 40,2 t/ha, y los tubérculos, con 31,9 t/ha. También destacan por sus altos rendimientos los cítricos (22,6 t/ha), los forrajes en verde (22 t/ha), y los frutales (15 t/ha). Si distinguimos por sistemas de irrigación se observa que los invernaderos desplazan en cuanto a rendimiento se refiere, con 73,5 t/ha, seguido del regadío al aire libre (13,7 t/ha) y finalmente el secano (0,92 t/ha). De entre los cultivos en invernadero, las hortalizas presentan un rendimiento de 76 t/ha, y los frutales de 50,8 t/ha. En lo que se refiere a cultivos con irrigación al aire libre, los cultivos azucareros presentan el mayor rendimiento (89,2 t/ha), seguido de los forrajes verdes (43,6 t/ha) y de los tubérculos (36,2 t/ha). Dentro de los cultivos en secano destaca el rendimiento de los cultivos azucareros (46,9 t/ha), seguido de los tubérculos (18,2 t/ha) y de los forrajes en verde (15,1 t/ha).

Teniendo en consideración las producciones totales y las superficies dedicadas en cada modelo e hito temporal, y considerando el efecto de los modelos climáticos, las proyecciones resultantes auguran una caída en los rendimientos para el modelo BAU. Así, para el hito 2030 el rendimiento total cae un 2%, con las mayores caídas en cultivos azucareros, con un descenso del 6%, y oleaginosos, con una caída del 5%. También se reducen los rendimientos de las fibras, especias, y tubérculos un 4%.

En el caso del hito temporal 2050, la caída en el rendimiento es del 8% (2,0 t/ha), con importantes descensos en el caso de las fibras (15%, 2,5 t/ha), los cultivos azucareros y los tubérculos (13%, 7,6 y 27,8 t/ha respectivamente), especies y oleaginosas (12%, 1,5 y 1,2 t/ha respectivamente). Algunos cultivos como Si analizamos por sistema de irrigación, las mayores caídas se observan en el rendimiento de los invernaderos, con un descenso del 10% con respecto a los rendimientos actuales (66,2 t/ha), mientras que para los cultivos irrigados y en secano suponen un 8% de descenso (12,6 y 0,85 t/ha respectivamente). Destaca el descenso en los rendimientos de las fibras con irrigación (-16% con respecto a baseline), los frutos secos y las oleaginosas en irrigación (-14%), y los cultivos azucareros y los tubérculos irrigados (-13%). En cuanto a los cultivos en secano, se observa una caída en los rendimientos de los tubérculos y oleaginosas (-11%), de los olivares y cereales (-10%), y de las hortalizas y cultivos azucareros (-9%). Al tratarse del modelo BAU, esta caída en la producción ocurre como consecuencia del cambio climático, precisamente porque no ocurren modificaciones ni en las superficies de cultivo, ni en los sistemas de irrigación ni en los manejos aplicados (salvo el ligero incremento de superficie ecológica).

Del otro lado, el modelo BIO+ presenta un incremento en el rendimiento para 2030 del 5%, con 2,2 t/ha. Se observan incrementos en los cultivos azucareros (7%), especias (5%), cereales (4%) para este hito temporal. Este incremento en la producción permite amortiguar ciertas

tos efectos del cambio climático para el hito 2030, sin embargo, la mayor profundidad de los efectos climáticos esperados para el hito 2050 impiden sostener los rendimientos en el modelo BIO+. De este modo, para 2050 se espera una caída con respecto a la actualidad, resultando en 1,9 t/ha (-13%). Las mayores caídas esperadas son en las fibras (-54%), en las hortalizas (-37%), en los tubérculos (-29%) y en las oleaginosas, todos ellos con caídas superiores en este modelo que en el modelo BAU. En cuanto a los sistemas de irrigación, el modelo BIO+ arroja descensos en los rendimientos de invernadero del 43%, y del 5% en el caso de cultivos irrigados, mientras que para el secano incrementa un 2% el rendimiento con respecto a baseline. Esto suponen valores de 42,2, 13,1 y 0,94 t/ha respectivamente. Destacan los descensos en los rendimientos en invernadero de las verduras y frutas, con descensos del 43% y 31%. En sistemas irrigados, las mayores caídas se registran en las fibras (-45%), oleaginosas y cereales (-31%) y cultivos azucareros y tubérculos (-23%). En cultivos en secano observamos incrementos en los rendimientos de las especies (49%), frutales (6%), y frutos secos (2%), mientras que se observan caídas en fibras (-59%), hortalizas (-25%), cultivos azucareros y oleaginosas (22%).

De manera comparativa, el modelo BIO+ presenta mejores desempeños (mayores rendimientos) para 2050 en el caso de frutos secos (+2% en sistemas irrigados y +6% en secano), leguminosas (+5% en irrigados), viñedos y frutales (+2% y +13% en secano, respectivamente). En el resto de cultivos los rendimientos obtenidos en el modelo BAU resultan superiores que en el modelo BIO+, con grandes diferencias en fibras (+29% en irrigados y +54% en secanos), oleaginosas (+17% en irrigado y +10% en secano), cultivos azucareros (+10% en irrigados y +13% en secano), hortalizas (+14% en irrigados y + 16% en secanos), y cereales (+20% en irrigados y + 3% en secanos).

Para poder entender la magnitud de la caída e identificar el factor (producción y/o superficie) que modifica el rendimiento, la tabla 2 indica, en tanto por uno, los cambios en la producción, la superficie y el rendimiento en cada modelo de transición e hito temporal para cada sistema de irrigación, con respecto al mismo sistema de irrigación en el escenario actual. Por un lado, en el hito 2030 se observa que, para cultivos irrigados bajo invernadero, el rendimiento decrece en ambos modelos de la misma manera (-4%), con el modelo BIO+ descendiendo ligeramente su superficie en invernadero (descenso <10% de la superficie), mientras que en el modelo BAU la superficie se mantiene igual para este hito. Sin embargo, cuando se observa el hito 2050 observamos que el rendimiento en hortalizas y de frutas bajo invernadero desciende un 10% para el caso del modelo BAU, mientras que en el caso del BIO+ el rendimiento desciende un 43%. Esta diferencia radica en que en el modelo BAU, la continuidad del uso de insumos en este tipo de agricultura no evita el descenso en la producción consecuencia de los factores climáticos (-10% la producción), aunque este descenso en la producción es menor que en el caso del BIO+, donde el cambio al 100% del manejo resulta en un descenso de la producción (-45% con respecto a la actualidad).

En lo que se refiere a cultivos de secano se observa que, para 2030, el rendimiento en el modelo BAU desciende un 2% con respecto a la actualidad, mientras que para el modelo BIO+ observamos un incremento del rendimiento del 5%. Esto ocurre principalmente por el descenso de la producción en el modelo BAU que, sin modificar la superficie, presenta descensos de hasta el 5% en oleaginosas, del 4% en cultivos azucareros, tubérculos y cereales, y del 2% en forrajes, frutales y viñedos. Del otro lado, el modelo BIO+ arroja crecimientos en el rendimiento de especias (+54%), aunque la pequeña superficie destinada a estos cultivos, tanto en este modelo como el modelo BAU no implica cambios significativos. No obstante, todas sus producciones salvo las hortalizas y las fibras, presentan incrementos en sus rendimientos en secano, derivados del cambio progresivo hacia manejos ecológicos, con valores reseñables como el incremento en cereales (+4%), frutos secos (+3%) y olivar, frutales, oleaginosos y forrajes (+2%). El caso de las hortalizas, con una caída en el rendimiento en secano del 10%, es suplido con una ampliación de la superficie, un 83% con respecto a la actualidad, lo que repercute en un 65% más de producción. Estas diferencias se hacen más agudas en el hito 2050, donde el modelo BAU presenta una caída en los rendimientos en secano del 8% como efecto de la caída en la producción consecuencia del cambio climático. Del otro lado, a pesar de que los efectos del cambio climático resultan más agudos en este hito temporal, el cambio en los manejos y las superficies en el modelo BIO+ permite aumentar los rendimientos del secano en un 2%, principalmente debido al incremento de la propia producción (+2%). Se observan caídas importantes en los rendimientos de hortalizas y fibras, con descensos del 25% y 59%, algo que es contrarrestado con la ampliación de la superficie dedicada a este tipo de cultivos en secano (+386% y +162% respectivamente) como estrategia para incrementar la adaptación al cambio climático de este modelo. El descenso en los rendimientos también se observa en los cultivos azucareros y oleaginosas (-22%), tubérculos y olivos (-14%), cereales (-13%) y forrajes (-7%). Del otro lado, los frutales y los frutos secos incrementan sus rendimientos para este modelo (+6% y +2% cada uno). La pérdida de rendimientos en algunos cultivos claves asociados al secano vienen contrabalanceados con un incremento en las superficies, como es el caso de cultivos azucareros, tubérculos, hortalizas y fibras, que incrementan 173%, 224%, 386% y 162% respectivamente sus superficies.

Para el caso de cultivos irrigados al aire libre, se observa que, mientras en el modelo BAU el rendimiento desciende un 1% para 2030, en el modelo BIO+ el rendimiento se incrementa un 7%, y eso a pesar de que la superficie irrigada en el modelo BIO+ resulta un 2% menor que en la actualidad, como resultado de la restricción de los cultivos en base a la disponibilidad de agua de riego contemplada en las asunciones. Se observan que los rendimientos en cultivos irrigados del modelo BAU reflejan en su mayoría descensos como en el caso de cultivos azucareros (-6%), oleaginosas y frutos secos (-5%), especies, tubérculos y fibras (4%), u olivares, viñedos y cereales (3%), todo ello

consecuencia del cambio climático (no descienden las superficies). Destaca la caída en la producción de oleaginosos (6%), y de frutos secos y oleaginosas (5%). Del lado contrario, el modelo BIO+ para 2030 presenta incrementos en los rendimientos de casi todos los cultivos, destacando los cultivos azucareros (+8%), tubérculos (+6%), hortalizas y especies (+5%), oleaginosas y cereales (+4%). Asimismo, es importante destacar que una parte sustancial de los incrementos vienen asociados a mejoras en los manejos, algo que se refleja en que el incremento de la producción con respecto a la actualidad es mayor que el incremento de la superficie de producción. Así, mientras que en las hortalizas se incrementa un 13% la superficie, la producción crece un 19%, algo parecido a lo que ocurre con los cultivos azucareros (+10% de superficie repercute en un +19% de la producción), pero también destaca esta tendencia en frutales, que prácticamente no varía su superficie pero incrementa un 2% la producción. Los cereales también reducen su superficie irrigada en este modelo un 2%, mientras que la producción crece un 5%.

En el hito 2050 el efecto del cambio climático afecta de manera señalada a ambos modelos de transición, aunque con diferencias. De un lado, se observa que la caída en los rendimientos de la superficie irrigada al aire libre es de -8% para el caso del modelo BAU mientras que el modelo BIO+ consigue amortiguar la caída y desciende un 5% con respecto a la actualidad, y eso a pesar de que el modelo BAU no modifica su superficie irrigada pero el BIO+ sí (-4%). Prácticamente todos los rendimientos en el modelo BAU descienden para este hito temporal, con importantes caídas en fibras (-16%), frutos secos y oleaginosas (-14%), tubérculos y cultivos azucareros (-13%), especies y cereales (-12%), y cítricos y viñedos (-10%). Estas caídas se encuentran directamente relacionadas con la incapacidad de este modelo de transición de garantizar la producción con la misma superficie cultivada en regadío, consecuencia del cambio climático. Los cambios asociados a las asunciones del modelo BIO+ se hacen patentes aquí, precisamente por el descenso en las superficies irrigadas dedicadas a fibras (-32%), forrajes (-17%), oleaginosas (-8%), y frutos secos y olivares (-5%). No obstante estas reducciones, se observa que los efectos de los cambios de manejo y los efectos del cambio climático incrementan la caída en la producción por encima del descenso de la superficie para cultivos como las oleaginosas (-36% de caída en la producción con una caída del 8% en su superficie), frutos secos (-16% de la producción con un descenso de la superficie del 5%), forrajes (-25% en la producción y -17% en la superficie) o cereales (-32% en la producción con un descenso del 1% de la superficie). Del otro lado, la asunción del incremento de la superficie vegetal irrigada, que crece un 66% con respecto a la actualidad, produce un 29% de incremento en la producción. De esta manera, estos datos muestran que el modelo BIO+ es un modelo que sería capaz de amortiguar el efecto del cambio climático a través del cambio en los manejos y en la distribución de las superficies, a pesar de la intensidad de los efectos climáticos recogidos para 2050, que serían devastadores como se observa en el modelo BAU.

		GH						RF						IRR					
		BAU			BIO			BAU			BIO			BAU			BIO		
		PROD	SUP	Rend	PROD	SUP	Rend	PROD	SUP	Rend	PROD	SUP	Rend	PROD	SUP	Rend	PROD	SUP	Rend
	Vegetables	-0.04	0.00	-0.04	-0.04	0.01	-0.04	0.01	0.00	-0.01	0.65	0.83	-0.10	-0.00	-0.00	0.19	0.13	0.05	
	Treenuts	-	-	-	-	-	-	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.03	0.05	-0.05	0.00	-0.01	0.01	
	Sugar_crops	-	-	-	-	-	-	-0.04	0.00	-0.04	0.34	0.35	-0.01	-0.06	-0.00	0.19	0.10	0.08	
	Spices	-	-	-	-	-	-	0.43	0.00	0.43	0.54	-0.00	0.54	-0.04	-0.00	0.04	0.05	0.00	0.05
	Roots_tubers	-	-	-	-	-	-	-0.04	0.00	-0.04	0.44	0.45	-0.00	-0.04	-0.00	0.15	0.09	0.06	
	Pulses	-	-	-	-	-	-	-0.00	0.00	-	1.00	1.00	0.00	-0.00	-0.00	-	0.17	0.16	0.01
	Olives	-	-	-	-	-	-	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	-0.03	-0.00	-0.03	-0.02	-0.00	-0.02
	Oilseeds	-	-	-	-	-	-	-0.05	0.00	-0.05	0.03	0.02	0.02	-0.05	-0.00	-0.05	-0.05	-0.08	0.04
	Grapes	-	-	-	-	-	-	-0.02	0.00	-0.02	0.01	0.01	0.01	-0.03	-0.00	-0.03	-0.04	-0.03	-0.02
	Fruits	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.02	0.00	-0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	-0.00	0.01	0.02	0.00	0.02
	Fodder_green	-	-	-	-	-	-	-0.02	0.00	-0.02	0.00	0.02	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	0.01	
	Fibres	-	-	-	-	-	-	0.02	0.00	0.02	0.25	1.59	-0.52	-0.04	-0.00	-0.35	-0.31	-0.06	
	Citrus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	
	Cereals	-	-	-	-	-	-	-0.04	0.00	-0.04	0.05	0.00	0.04	-0.03	-0.00	-0.03	-0.02	-0.04	
	Total general	-0.04	-	-0.04	-0.04	0.01	-0.04	0.02	0.00	-0.02	0.05	0.00	0.05	-0.01	-	-0.01	0.05	-0.02	0.07
2050	Vegetables	-0.10	-	-0.10	-0.46	-0.05	-0.43	-0.09	0.00	-0.09	2.64	3.86	-0.25	-0.08	-0.00	0.29	0.66	-0.22	
	Treenuts	-	-	-	-	-	-	-0.05	0.00	-0.05	0.03	0.01	0.02	-0.14	-0.00	-0.14	-0.16	-0.05	-0.12
	Sugar_crops	-	-	-	-	-	-	-0.09	0.00	-0.09	1.12	1.73	-0.22	-0.13	-0.00	0.13	0.16	0.50	-0.23
	Spices	-	-	-	-	-	-	0.34	0.00	0.34	0.49	0.00	0.49	-0.12	-0.00	-0.12	-0.12	-0.00	-0.12
	Roots_tubers	-	-	-	-	-	-	-0.11	0.00	-0.11	1.80	2.24	-0.14	-0.13	-0.00	0.13	0.08	0.42	-0.23
	Pulses	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	5.05	5.04	0.00	-0.00	-0.00	-	0.68	0.60	-0.05
	Olives	-	-	-	-	-	-	-0.10	0.00	-0.10	0.13	0.01	-0.14	-0.07	-0.00	-0.07	-0.15	-0.05	-0.10
	Oilseeds	-	-	-	-	-	-	-0.11	0.00	-0.11	0.20	0.02	-0.22	-0.14	0.00	-0.14	-0.36	-0.08	-0.31
	Grapes	-	-	-	-	-	-	-0.05	0.00	-0.05	0.02	0.01	-0.03	-0.10	-	-0.10	-0.13	-0.03	-0.10
	Fruits	-0.05	0.00	-0.05	-0.31	0.00	-0.31	-0.07	-	-0.07	0.07	0.01	0.06	-0.08	-0.00	-0.08	-0.10	-0.01	-0.09
	Fodder_green	-	-	-	-	-	-	-0.06	-	-0.06	0.03	-0.05	-0.07	-0.03	-0.00	-0.25	-0.17	-0.09	
	Fibres	-	-	-	-	-	-	-0.05	0.00	-0.05	0.09	1.62	-0.59	-0.16	-0.00	-0.16	-0.62	-0.32	-0.45
	Citrus	-	-	-	-	-	-	-0.10	0.00	-0.10	0.12	0.01	-0.13	-0.12	0.00	-0.12	-0.32	-0.01	-0.31
	Cereals	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.10	-0.00	-0.10	-0.17	-0.00	-0.17	
	Total general	-0.10	-	-0.10	-0.45	-0.04	-0.43	-0.08	-	-0.08	0.02	0.00	0.02	-0.08	-0.00	-0.08	-0.09	-0.04	-0.05

Tabla 2
Cambios en tanto por uno con respecto al escenario actual de la producción (PROD), la superficie (SUP) y el rendimiento final (Rend), para cada sistema de irrigación (GH: invernadero irrigado; RF: secano; IRR: irrigado al aire libre).

(GH: invernadero irrigado; RF: secano; IRR: irrigado al aire libre). Se señalan en rojo las reducciones con respecto al escenario actual.

3.1.5. Los cambios en la Productividad Primaria Neta

Aunque lo indicado hasta ahora muestra cambios en la producción, es decir, aquella fracción que se cosecha y se destina a una variedad de usos (cabaña ganadera, alimentación humana, industria, etc.) lo que resulta más relevante es identificar cómo los cambios en los manejos agroecológicos modifican los agroecosistemas y fortalecen la transición hacia sistemas de baja entropía, observando la producción de biomasa al completo. En este sentido, conviene conocer la entidad de la biomasa que va a la sociedad, pero también aquella que permanece en el agroecosistema y que sostiene las cadenas tróficas. Para ello es necesario saber la cantidad de biomasa total producida por el agroecosistema, esto es, la Productividad Primaria Neta (NPP en inglés o PPN en español, ver [anexo metodológico](#)), expresada en materia seca.

En la actualidad, la PPN suponen 326,2 millones de toneladas de materia seca (en adelante, toneladas), de las que solo el 13% supone lo que se estima como producción en las estadísticas (40,9 millones de toneladas) (figura 6). Además de la fracción producida, cabe señalar que la PPN también está asociada a los residuos, las raíces, y la flora asociada (arvenses). Así, los residuos componen el 42% de la PPN (137,2 millones de toneladas), las raíces el 23% (74,1 millones de toneladas), y las arvenses el 23% restante (73,9 millones de toneladas).

Cabe señalar que la PPN no solo mide la superficie cultivada (SC) estudiada hasta ahora, sino que también engloba tanto la producción de las zonas cultivadas como aquella asociada a sistemas silvopastoriles y pastos, que llamaremos superficie no cultivada (SNC). De este modo, el 95% de la PPN de producción está asociada a la propia superficie de cultivo (38,7 millones de toneladas), pero también existe la producción asociada a los sistemas silvopastoriles, los pastos y otra vegetación, que alcanza 2,2 millones de toneladas (5%). En lo

que se refiere al resto de componentes de la PPN, la aportación de la SNC resulta una fracción mucho mayor que la que aporta la propia SC. Así, mientras que los residuos de la SC alcanzan 42,6 millones de toneladas, los de la SNC resultan en 94,6 millones de toneladas. De manera similar, las raíces asociadas a SC son 19,8 millones de toneladas, mientras que en SNC resultan en 54,3 millones de toneladas. Para arvenses, mientras que en la SC alcanzan 11,3 millones de toneladas, en la SNC alcanzan 62,6 millones de toneladas. Por tanto, el conjunto de PPN asociada a los residuos, las raíces y las arvenses que tiene por origen la SNC asciende a 211,5 millones de toneladas, una contribución mucho más alta que estos mismos componentes de la PPN para la SC (73,7 millones de toneladas).

El hito 2030 muestra valores divergentes para el modelo BAU, fruto de los efectos del cambio climático, en detrimento de la PPN. De un lado, la PPN aumenta un 3%, pasando a ser de 336,2 millones de toneladas. En el caso de la producción desciende un 2% hasta las 39,9 millones de toneladas, mientras que en términos de residuos, raíces y arvenses, aumentan un 1%, 3% y 10% hasta alcanzar 139,76,2 y 81,1 millones de toneladas respectivamente. Cabe destacar que la caída en la PPN se da principalmente en la SC, sobre todo en los residuos (disminución del 3%) y de la producción (-2%). Para el hito 2050 la PPN vuelve al valor actual (326 millones de toneladas). En este caso, la producción cae un 9% con respecto a baseline (37,4 millones de toneladas), pero también cae los residuos (-3%, 133,5 millones de toneladas), las raíces (-3%, 76,2 millones de toneladas) mientras que crecen las arvenses (+8%, 80,1 millones de toneladas). De nuevo aquí la PPN asociada a la SC muestra descensos del 9% para la producción y del 10% para los residuos.

Del otro lado, el modelo BIO+ indica un cambio en la composición y volumen de la PPN. Así, para 2030 los resultados arrojan un incremento del 9% de la PPN, alcanzando los 356,1 millones de toneladas. De estas, el 13% está asociada a la producción (42,6 millones de toneladas), el 43% a residuos (153 millones de toneladas), y el 44% a arvenses (81 millones de toneladas). Este incremento para 2030 se realiza principalmente en la SC, cuya PPN crece un 22% con respecto a la actualidad (138 millones de toneladas), mientras que en la SNC se reduce un 5% (203 millones de toneladas). Además, la PPN de producción crece un 5% en la SC y un 2% en la SNC, con valores de 40,5 y 2,1 millones de toneladas respectivamente, pero también se encuentran resultados en el crecimiento de la PPN asociada a los residuos (36% adicional en la SC), las raíces (20% adicional en la SC) y las arvenses (33% adicional en la SC).

Para el hito 2050, los efectos del cambio climático afectan de manera relevante a la PPN pero, a pesar de ello, las transformaciones en los manejos y la reordenación de los cultivos y sistemas de regadío permiten que, en el modelo BIO+, la PPN crezca un 12% con respecto a la actualidad (365,9 millones de toneladas). La particularidad de este hito temporal para el modelo BIO+ es que la fracción de PPN de producción se reduce al 11% de la PPN total (37,8 millones de toneladas), al igual que lo hacen los residuos, que pasan del 42% actuales al 37% en el 2050, y las raíces, que pasan del 23% en la actualidad al 20% en 2050.

Del otro lado, las arvenses incrementan su PPN, pasando desde el 23% actual al 32% de la PPN para este modelo de transición. Igualmente, en lo que se refiere a la fracción de la PPN vinculada a la SNC se observan descensos en la producción y las raíces (-8%), y en los residuos (-7%). Sin embargo, la transición de zonas boscosas hacia sistemas silvopastoriles permiten incrementar la fracción de arvenses un 46% con respecto a baseline, suponiendo una fracción sumamente importante para los sistemas ganaderos. Esto es consecuencia de una de las asunciones del modelo BIO+, en la que parte de las zonas boscosas se clarean con el fin de ser utilizadas para su uso en ganadería, produciendo para 2050 48,9 millones de toneladas de materia seca. El logro de la sustentabilidad que alcanzan los agroecosistemas depende, entre otros factores, de la biomasa que se deja sin cosechar o se reutiliza para alimentación animal, semillas o abonos verdes, es decir toda la biomasa procedente la PPN que se recicla. La biomasa no cosechada es la responsable de mantener las cadenas tróficas que garantizan el sostenimiento de los organismos vivos presentes en el agroecosistema; conocer su volumen es de gran importancia. Asimismo, los “residuos” de cosecha constituyen un aporte importante de la alimentación ganadera. En este sentido, la recuperación de variedades tradicionales, que suelen producir más cantidad de residuos que las modernas, permitiría que se incremente este componente de la PPN en el horizonte de 2050. Esto explica que exista una significativa diferencia entre ambos modelos, el BAU y el BIO+, en cuanto a la proporción de biomasa disponible.

Uno de los componentes fundamentales de los distintos tipos de biomasa por sus importantes funciones en los agroecosistemas es la fracción de biomasa que forma el tejido radicular de los cultivos y que aporta nutrientes a los organismos del suelo y mejora la porosidad del mismo. También en este aspecto, se han observado diferencias entre los modelos como se describe en los párrafos anteriores. De esta manera, aunque el efecto principalmente del cambio climático se nota en el descenso de tejido radicular para el hito 2050, el modelo BIO+ amortigua dichos efectos más que el modelo BAU.

Por último, es muy relevante el papel que juegan las cubiertas vegetales, tanto en la superficie como en el componente dentro de los suelos. Por lo tanto, observamos que las proyecciones en el modelo BIO indican que, a pesar de un descenso del 8% de la producción con respecto a la actualidad, dicha transición permite incrementar los componentes radiculares un 14% y la biomasa arvense un 263%. La aportación de las cubiertas vegetales, si bien no tiene relación directa con la alimentación humana, supone un componente fundamental asociado a las cadenas tróficas que garantizan la sostenibilidad a largo plazo de los agroecosistemas. Su capacidad de retener la humedad en el suelo (reduciendo los requerimientos hídricos), el ser potencial alimento animal para la ganadería extensiva, la disminución de la erosión y la contribución a la materia orgánica del suelo, son los principales aspectos por los que dichas cubiertas son un elemento fundamental de este modelo. Asimismo, contribuye a mejorar la biodiversidad presente en los agroecosistemas (Beaumelle et al., 2021; de Pedro et al., 2020; Qiu et al., 2024)

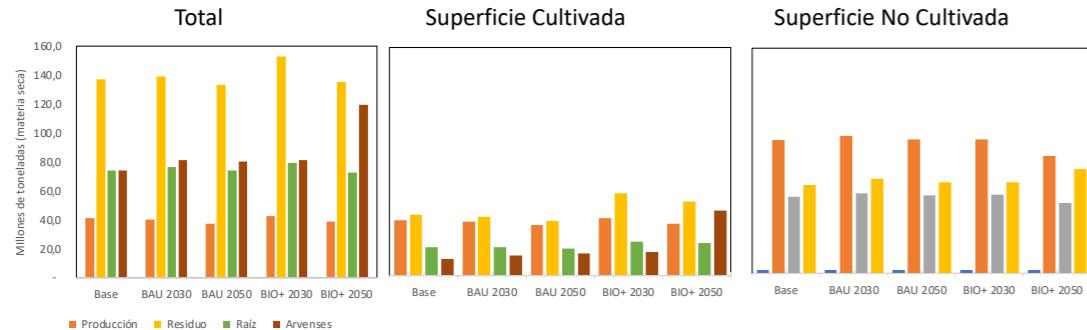


Figura 6
Componentes de la PPN, expresados en materia seca, comparando los escenarios actual (base), BAU y BIO+. Se indica la PPN según si procede de la superficie cultivada o la superficie no cultivada.

3.1.6. El retorno del carbono a los agroecosistemas: estrategias de sostenibilidad

La PPN descrita hasta ahora resulta ser la base de la sustentabilidad agraria si se le da un uso idóneo, reponiendo aquellos nutrientes que los agroecosistemas precisan para sus cadenas tróficas y ordenamiento ecológico. Así, no solo resulta relevante comparar las distintas PPN entre modelos de transición e hitos, también identificar las diferencias que se generan en las diferentes estrategias de gestión de la PPN. Para ello, resulta relevante trazar las tasas de reposición del carbono en los suelos, un elemento químico que resulta la base fundamental de la vida. Asimismo, es de gran interés conocer los orígenes de dichas fuentes de carbono, precisamente para identificar el potencial que pueda existir en las estrategias de reposición del carbono. En la figura 7 se expresa la aportación de C aplicado y humidificado.

3.1.6.1. Carbono Aplicado

En la actualidad (*baseline*), el carbono aplicado asciende a 2,3 t/ha, principalmente procedente de los componentes que quedan en el subsuelo de los cultivos (crop belowground, 37%), de los residuos no cosechados de los cultivos (27%) y de la aplicación de estiércol (19%). Otros componentes menores son la aportación de las arvenses, tanto en su componente radicular (8%) como aéreo (8%). De esta manera, la devolución de carbono a los agroecosistemas se da en gran medida por los residuos y raíces de la fracción cultivada, que suman 0,86 y 0,63 t/ha respectivamente. La contribución de residuos urbanos hacia el compostaje resulta residual en la actualidad (0,02 t/ha) y la agroindustria no supone una fuente de carbono de retorno hacia los agroecosistemas.

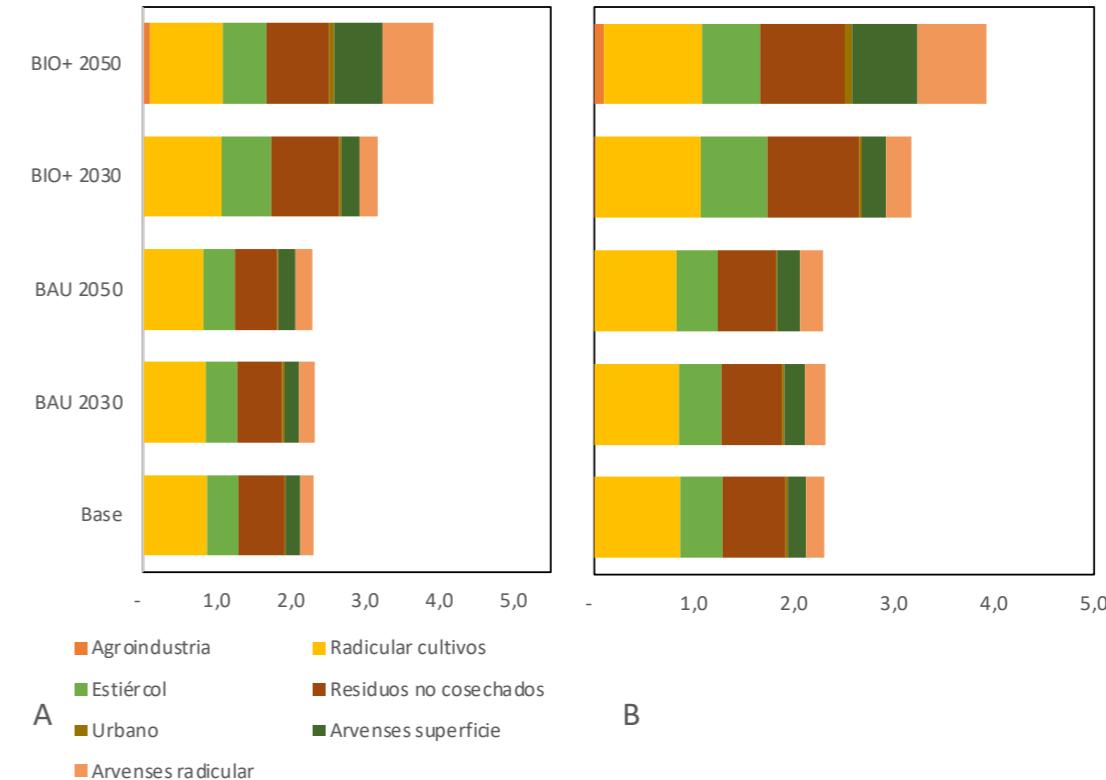


Figura 7
Carbono aplicado a los agroecosistemas por hectárea, aplicado (A) y humidificado (B), comparando los escenarios actual (base), BAU y BIO+. Unidades: toneladas/hectárea.

Al comparar *baseline* con el modelo BAU, observamos que el valor total de carbono aplicado por hectárea presenta diferencias muy pequeñas, arrojando un valor de 2,3 t/ha para 2030, lo que supone un 1% de descenso. Los únicos componentes que crecen dentro del carbono aplicado para el modelo BAU son las de las arvenses, con un incremento del 12% tanto en su fracción aérea (0,20 t/ha), como en su fracción radicular (0,21 t/ha). El resto de componentes se reducen, con un descenso de entre el 1-2% para los componentes más relevantes: residuos de los cultivos, biomasa radicular y estiércol. De esta manera, el sistema radicular de los cultivos implica la aplicación de 0,85 t/ha, los residuos de los cultivos 0,61 t/ha, y el estiércol 0,42 t/ha. Para el hito 2050 continua la misma tendencia, con un mínimo cambio con respecto al *baseline*, resultando en un descenso del 1% en la aplicación de carbono (2,29 t/ha), y un reparto de las contribuciones similar al hito temporal 2030. Para 2050, los componentes asociados a las arvenses se incrementan un 23% con respecto a *baseline* (0,23 t/ha fracción radicular y 0,22 t/ha para la fracción aérea), mientras que la fracción radicular de los cultivos desciende un 5% y la asociada a los residuos no cosechados desciende un 9% con respecto a la actualidad, con valores de 0,82 t/ha y 0,57 t/ha respectivamente. El componente del estiércol desciende un 2% en este hito temporal, resultando en 0,42 t/ha.

El modelo BIO+ muestra divergencias con respecto a la tendencia del modelo BAU para el hito temporal 2030, incrementando la aplicación de carbono un 38% hasta alcanzar 3,2 t/ha. Así, el mayor incremento se produce en la aplicación de estiércol como una de las estrategias de transformación de los manejos (56%), alcanzando 0,67

t/ha. Asimismo, se producen importantes incrementos en relación a la superficie cultivada: los residuos no cosechados se incrementan un 47% adicional alcanzando 0,92 t/ha, y la fracción radicular un 21% adicional, alcanzando 1,0 t/ha. Estos incrementos se producen en parte por la sustitución de variedades modernas por variedades tradicionales, con mayor fracción radicular y aérea no cosechable, y que contribuirían a la reposición del carbono en los agroecosistemas. Una de las estrategias centrales del modelo BIO+ es la recuperación y promoción de las cubiertas verdes asociadas a cultivos, lo que permitiría incrementar la contribución de las arveses a los agroecosistemas. En este sentido, para el hito 2030 este modelo incrementa un 33% la aportación de la fracción radicular de las arveses (0,25 t/ha) y un 35% la fracción aérea (0,24 t/ha). Por último, es destacable la estrategia de fertilización orgánica a través del compostaje de residuos urbanos, que incrementan este factor un 41% con respecto a la actualidad, contribuyendo con 0,03 t/ha, así como la contribución desde los residuos de agroindustria hacia los agroecosistemas, que en baseline no se utilizan, pero que podrían aportar 0,02 t/ha en el hito temporal 2030. La fracción relativa a los residuos de agroindustria que se devuelven a los agroecosistemas alcanza un valor de 0,02 t/ha para 2030.

Para el hito 2050 se profundizan en las medidas de adaptación con los manejos agroecológicos, por lo que las mejoras reflejan un incremento en el carbono aplicado del 70% con respecto al valor actual, alcanzando 3,9 t/ha. Este incremento se produce debido a un incremento relevante en la fracción radicular de las arveses del 270%, alcanzando 0,69 t/ha, y de la fracción aérea de las arveses en un 259% adicional, con un valor de 0,65 t/ha. Asimismo, la fracción procedente del compostaje urbano se incrementa un 250%, arrojando un valor de 0,07 t/ha, mientras que la fracción de los residuos de agroindustria alcanza un valor de 0,10 t/ha. En el caso del estiércol aplicado, se observa un incremento del 36%, alcanzando un valor de 0,58 t/ha. Los residuos de cosecha y radiculares presentan incrementos del 34% y 14%, arrojando valores de 0,84 y 0,99 t/ha respectivamente. De esta manera, para 2050 las mayores contribuciones al carbono aplicado proceden de los residuos radiculares y de cosecha de la superficie cultivada, con 25% y 21% respectivamente, lo que suponen 0,99 y 0,84 t/ha respectivamente. También resultan relevantes las fracciones asociadas a las arveses, con una aportación del 17% y 18% desde las fracciones radiculares y aéreas (0,65 y 0,69 t/ha respectivamente).

3.1.6.2. Carbono Humidificado

En lo que se refiere al carbono humidificado, la aplicación total supone 0,41 t/ha en la actualidad, con importantes aportaciones de los residuos radiculares de los cultivos (38%), del estiércol (27%) y de los residuos no cosechados (21%). Otros componentes menores que aportan a este coeficiente de aplicación son las arveses, con un 8% de su fracción radicular y un 5% de fracción aérea, y un 2% de aportación de residuos urbanos. En este sentido, el carbono humidificado de nue-

vo aquí tiene como principales fuentes de aportación a los agroecosistemas los residuos aéreos y terrestres de los cultivos, que alcanzan el 59% de su aportación, pero también el estiércol, cuya contribución resulta mayor que en el caso del carbono aplicado. Por otro lado, las arveses en su conjunto aportan menos carbono humidificado que en el caso del carbono aplicado.

El modelo BAU arroja valores de aplicación iguales al baseline (0,41 t/ha), por tanto, sin presentar mejoría en este indicador para ninguno de los hitos. Asimismo, el reparto de las distintas fracciones que contribuyen al carbono humidificado presentan variaciones muy pequeñas. Así, mientras que la aportación de las arveses se incrementa un 23%, con valores de 0,03 t/ha para la fracción aérea y 0,04 t/ha para la fracción radicular, la fracción radicular de los cultivos descende un 5% (0,15 t/ha), el estiércol desciende un 2% (0,11 t/ha) y los residuos no cosechados descienden un 9% (0,08 t/ha). De esta manera, tanto para el hito 2030 como para 2050, la mayor contribución procede de los residuos radiculares de los cultivos (37%), del estiércol (26%) y de los residuos de cosecha (21%).

El modelo BIO+ arroja incrementos del 38% para 2030, alcanzando 0,57 t/ha, con incrementos sustanciales de las fracciones del estiércol aportado (56% adicional, 0,17 t/ha), de los residuos no cosechados (41% adicional, 0,12 t/ha) y de los residuos urbanos (41% adicionales, 0,01 t/ha). En el caso de las arveses, su aportación al carbono humidificado se incrementa un 33% y un 35% adicional con respecto al baseline en su fracción aérea y radicular, arrojando valores de 0,03 y 0,04 t/ha respectivamente. También resulta relevante el incremento del 21% del carbono procedente del sistema radicular de los cultivos, alcanzando 0,2 t/ha. La incorporación de residuos de agroindustria para este hito temporal supone 0,01 t/ha. En lo que se refiere al hito 2050, el incremento del carbono humidificado supone un incremento del 69%, alcanzando 0,7 t/ha. El principal incremento se observa en las cubiertas arveses, que reflejan un incremento del 270% de la fracción radicular (0,1 t/ha), y del 259% de la fracción aérea (0,07 t/ha). Asimismo, se observa un incremento en la aplicación de estiércol del 36% con respecto a la actualidad (0,1 t/ha), del 32% de los residuos de cosecha (0,1 t/ha) y del 14% del sistema radicular de los cultivos (0,2 t/ha). La fracción urbana, aunque presente un valor relativamente bajo (0,02 t/ha), presenta un incremento del 250% con respecto a su utilización en la actualidad. Por último, la agroindustria permite adicionar 0,03 t/ha de carbono humidificado. Con todo ello, para el hito 2050 observamos que la mayor contribución procede del sistema radicular de los cultivos (25%), seguido de la aplicación de estiércol (21%), del sistema radicular de las arveses (18%) y de los residuos de cultivos (17%). Un 11% procede del carbono procedente de la fracción aérea de las arveses, un 5% de los residuos de agroindustria y un 3% del compostaje urbano.

3.1.7. Los manejos del nitrógeno en los agroecosistemas

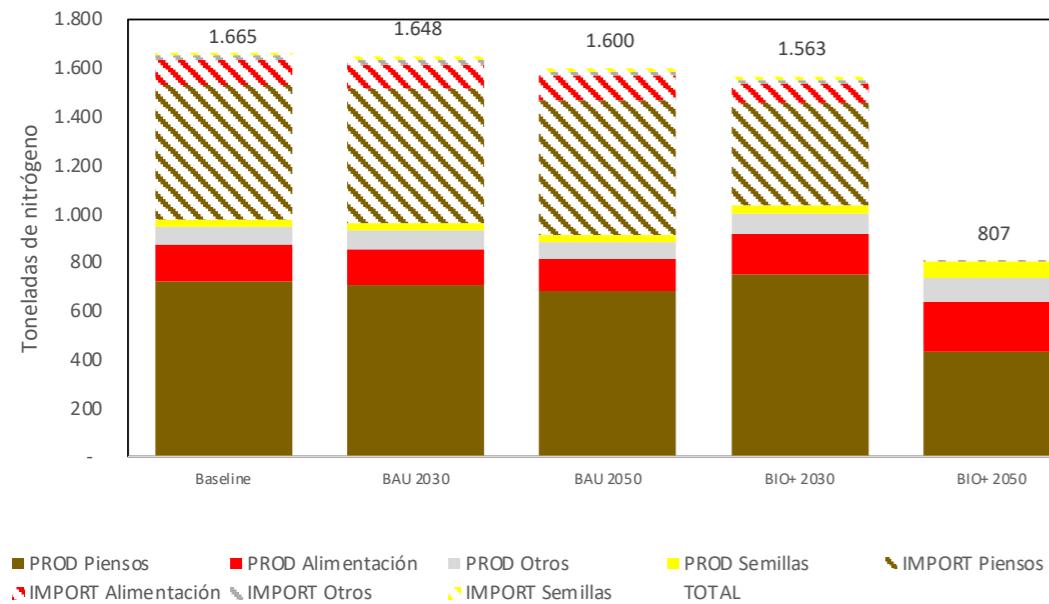


Figura 8
Nitrógeno contenido en los productos producidos (color opaco) e importados (color rayado).

Como puede observarse, del total en la actualidad (1.665 t de N), el 59% del nitrógeno (N) del sistema viene asociado a la producción mientras que el 41% restante está asociado a la importación, con valores de 978 t de N y 687 t de N respectivamente (figura 8). Por categorías, los piensos (feed) son la partida que mayor parte del nitrógeno emplea, con 1.274 t de N (77% del valor total), seguido de la alimentación (252 t de N), otros usos (94 t de N) y finalmente el N asociado a las semillas (44 t de N). Para piensos y alimentación, casi la mitad de estas categorías están asociadas con el N importado. Así, los piensos presentan un 43% del N asociado a la importación (552 t de N), mientras que la alimentación supone un 41% (103 t de N). En el caso de otros usos, supone un 19% (18 t de N) y en las semillas un 31% (14 t de N).

En el modelo BAU, el hito 2030 refleja un ligero descenso en el uso del N hasta alcanzar 1.648 t. De esta cantidad, el 58% es N asociado a la producción nacional (961 t de N), y el 42% de N importado (687 t de N). Por categorías, los piensos siguen siendo los protagonistas en términos de t de N, con 1.261 t de N (76% del N total), seguido de la alimentación (249 t de N, 15%), otros usos (95 t de N, 6%) y las semillas (43 t de N, 3%). En términos de distribución geográfica, los piensos incrementan ligeramente sus orígenes internacionales, con un 44% del N procedente del extranjero (552 t de N), mientras que el resto de categorías presentan el mismo reparto que en la actualidad, con valores del 41% para la alimentación, 19% para otros usos y 31% para las semillas (103, 18 y 14 t de N respectivamente). En este sentido, apenas se identifican cambios en los usos del N para este hito temporal en el modelo BAU. Para el hito 2050 de este modelo, las toneladas totales de N disminuyen un 4% con respecto a la actualidad, alcanzando las 1.600 t de N. Aquí de nuevo se observa un ligero descenso del N asociado a

la producción hasta alcanzar los 913 t de N, lo que supone un 57% del N total, mientras que la importación supone el 43% restante (687 t de N). Del total del N implicado, el 74% están asociadas a piensos, con un valor de 1.234 t de N, lo que supone un 3% de descenso con respecto a la actualidad. El resto de categorías también descienden, con la alimentación descendiendo un 7% (234 t de N), otros usos un 6% (89 t de N) y las semillas un 3% (43 t de N). La dependencia de otros territorios, como hemos señalado, implica una mayor importación de N, lo que principalmente se observa en las partidas mayoritarias. Así, los piensos presentan un 45% de su N asociado a las importaciones (554 t de N), la alimentación un 43% (103 t de N), otros usos un 21% (18 t de N) y las semillas un 33% (14 t de N). Por lo tanto, observamos que el modelo BAU sigue una tendencia por un lado hacia un descenso prácticamente residual del uso de N total, mientras que incrementa su dependencia internacional en todas las partidas.

En el modelo BIO+ se observa una tendencia ligeramente distinta. Por un lado, para el hito 2030 los datos indican un descenso del 6% del N total utilizado (1.563 t de N), lo que supone un descenso más intenso que el propio hito 2050 del modelo BAU. Asimismo, se observa un proceso de relocalización del N utilizado, con una proporción del 66% procedente de las partidas de producción nacional (1.036 t de N), y un descenso de la de importación hasta el 34% restante (527 t de N). En cuanto a los piensos, éstos siguen siendo los más relevantes desde el punto de vista del uso de N, con el 70% del total (1.173 t de N), aunque suponga un 8% menor uso que en la actualidad. La alimentación sigue esta misma tendencia, descendiendo el uso del N un 4% en comparación con la actualidad hasta alcanzar las 242 t de N, lo que supone el 15% del N total utilizado para 2030. Le sigue el uso de N para otros usos (99 t de N, 6% del N total), y las semillas (48 t de N, 3% del N total), lo que implica un incremento del 5% y 9% respectivamente si se comparan con su uso en la actualidad. En cuanto a los orígenes del N, se observa un proceso de relocalización del N utilizado, en la medida en la que los piensos nacionales pasan a componer el 64% del uso de los piensos en conjunto (753 t de N), mientras que en la alimentación suponen el 68% (164 t de N). También se observa la misma tendencia en la categoría de otros usos, con el 84% del N asociado a la producción nacional (37 t de N), y con el 76% de las semillas (37 t de N). Para el hito 2050 la profundización de estos aspectos se hace aún más patente, con un descenso del 52% con respecto a la actualidad hasta las 807 t de N. De éstas, el 99% son procedentes de la producción nacional (803 t de N). La distribución del N utilizado entre las distintas categorías muestra un reparto distinto al resto de hitos, con el 54% del N asociado a los piensos (434 t de N), 26% asociado a la alimentación (207 t de N), 12% asociado a otros usos (101 t de N) y 8% asociado a las semillas (66 t de N). Así, mientras que los piensos han visto disminuir su uso de N un 66% con respecto a la actualidad, la alimentación lo ha hecho un 18%. Del otro lado, los otros usos han incrementado su uso de N un 7% con respecto a la actualidad y las semillas han supuesto un incremento del 49%. En cuanto a dependencia internacional, to-

das las categorías presentan un descenso drástico del N importado, con plena dependencia de producción nacional para el caso de los piensos y las semillas, un 1% para el caso de los alimentos (asociado a aquellos productos como el café o el cacao del que no se presenta producción en España), y del 2% en el caso de otros usos.

3.1.8. La alimentación de la cabaña ganadera

3.1.8.1. Consumo de biomasa

La producción ganadera es una de las actividades principales en el sistema alimentario en España. Su producción, con un alto grado de intensificación y concentración, es conocida por el uso de productos procedentes de terceros países, que complementan aquellos productos con origen en los agroecosistemas nacionales. La orientación de la producción agraria hacia la alimentación intensiva, así como su dependencia internacional, puede observarse en la siguiente figura.

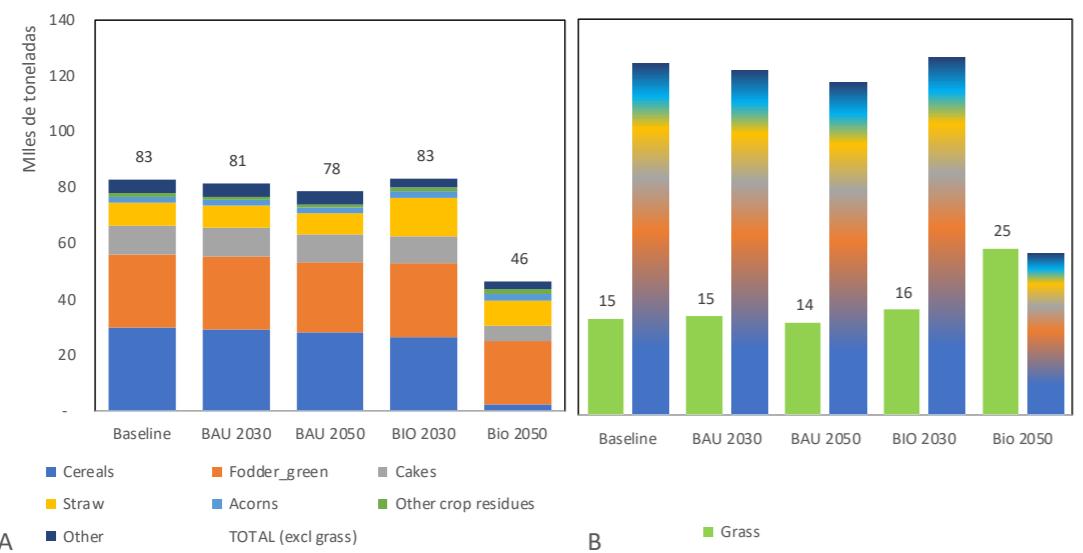


Figura 9
Consumo alimentario de la cabaña ganadera, para los distintos modelos de transición e hitos temporales. La figura A representa la materia fresca excluyendo el consumo de pastos, mientras que la figura B representa el total expresado en materia seca, incluyendo la fracción de pastos (verde) y en comparación con el resto de partidas agrupadas (barra de colores). Other agrupa categorías menores al 1% del total para cada barra.

De un lado, las dietas animales en *baseline* dependen en gran medida del consumo de cereales (36%, 29,7 miles de toneladas), seguido de los forrajes (32%, 26,3 miles de toneladas), de las tortas (12%, 10,3 miles de toneladas) (figura 9). Los residuos de cosecha como la paja suponen el 10% (8,1 miles de toneladas), y los frutos asociados a las dehesas, principalmente bellota, alcanzan el 3% (2,2 miles de toneladas). Junto con otros componentes minoritarios, la cabaña ganadera en España consume actualmente 83 miles de toneladas de productos. Junto con esta cantidad, hay que considerar la cantidad de pasto utilizado, que asciende a 14,6 miles de toneladas en materia seca.

Para mantener la cabaña ganadera en el hito 2030, la composición de las dietas de los animales para el modelo BAU permanece invariable, con el 36% de cereales (29,1 miles de toneladas), 32% de forrajes (26,1 miles de toneladas), 13% de tortas (10,3 miles de tonela-

das), 10% de paja (7,8 miles de toneladas). El descenso es apenas perceptible, pasando de 82,2 miles de toneladas en *baseline* a 81,3 miles de toneladas en 2030. En este caso, los pastos suponen una fracción algo mayor (15 miles de toneladas) que en *baseline*. Para el hito 2050 se mantiene la dinámica, con el mismo reparto de las proporciones, un descenso en el consumo de pastos (14 miles de toneladas de materia seca) y un descenso de consumo total hasta alcanzar los 78,5 miles de toneladas.

Para el modelo BIO+ la dinámica cambia en la medida en la que la dieta de los animales se modifica (y la propia cabaña), se reincorporan paulatinamente los manejos agroganaderos históricos (pastoreo y transhumancia) y se utilizan subproductos agrícolas para la alimentación animal. Así, para 2030 se observa que el consumo total de la cabaña puede aumentar ligeramente con respecto a la actualidad, pasando a 83,2 miles de toneladas. A pesar de aumentar como valor global, el consumo de cereales disminuye un 12% (26,2 miles de toneladas) y el de tortas un 8% (9,5 miles de toneladas), mientras que se incrementa un 74% el consumo de paja (14 miles de toneladas), y un 17% otros residuos agrícolas (1,4 miles de toneladas). La disponibilidad mayor de estos dos últimos componentes de las dietas tiene que ver con el incremento de estas fracciones de la PPN que no son comestibles por los humanos, y que derivan de la incorporación de variedades tradicionales en los cultivares. De esta manera, el consumo total de la cabaña ganadera está compuesto del 32% de cereales, 32% de forrajes, 11% de tortas y 17% de paja para este hito. A todo ello hay que agregar el pasto consumido, que se incrementa un 9% con respecto a *baseline* (16 miles de toneladas de materia seca) y que es consecuencia de la transición hacia la ganadería extensiva que hace uso de cubiertas verdes y pastos de manera eficiente. Para el hito 2050 estos cambios propuestos profundizan la transformación de la cabaña ganadera, puesto que la cantidad consumida, excluyendo los pastos, desciende un 44% hasta los 46,2 miles de toneladas. Este descenso se produce principalmente en la reducción de cereales, con un descenso del 92% con respecto a la actualidad hasta alcanzar los 2,2 miles de toneladas, y en las tortas, que se reducen un 47% hasta los 5,5 miles de toneladas. También se presentan descensos relevantes en el consumo de forraje (13%, 22,9 miles de toneladas). Del otro lado, se incrementa el consumo de paja un 12% con respecto a *baseline* (9 miles de toneladas) y un 35% el consumo de otros residuos agrícolas (1,6 miles de toneladas). Los pastos y las cubiertas vegetales asociadas a este modelo permiten incrementar la fracción consumida por la cabaña, incrementándose un 72% con respecto a la actualidad (25,3 miles de toneladas).

De esta manera, mientras que el modelo BAU consume un 1,9 veces la cantidad de tortas y 12,6 veces la cantidad de cereales que el modelo BIO+ para el mismo hito temporal, el modelo BIO+ consume un 1,2 veces más paja, 1,5 veces más de otros residuos de cosecha y 1,8 veces más pastos que el modelo BAU para este mismo hito temporal.

3.1.8.2. La relación con las importaciones

Si se analiza la procedencia de los componentes de las dietas podemos observar que, en términos de materia fresca, los cereales dependen en un 45% de las importaciones (13,3 miles de toneladas) (figura 10). Algo similar sucede con las tortas, cuya disponibilidad depende en un 48% de importaciones (4,9 miles de toneladas). Otros productos menores también presentan un alto componente internacional (40%, 2 miles de toneladas). Del otro lado, también destaca la gran cantidad de forrajes asociados al consumo de la cabaña ganadera, 26,3 miles de toneladas, en su totalidad procedentes de la producción nacional. En el caso de la paja y de los residuos agrícolas, la totalidad de ambos procede de la producción nacional (8 miles de toneladas y 1,2 miles de toneladas respectivamente). En conjunto, la cabaña ganadera consume 20,2 miles de toneladas de productos importados en su conjunto, un 24% del total.

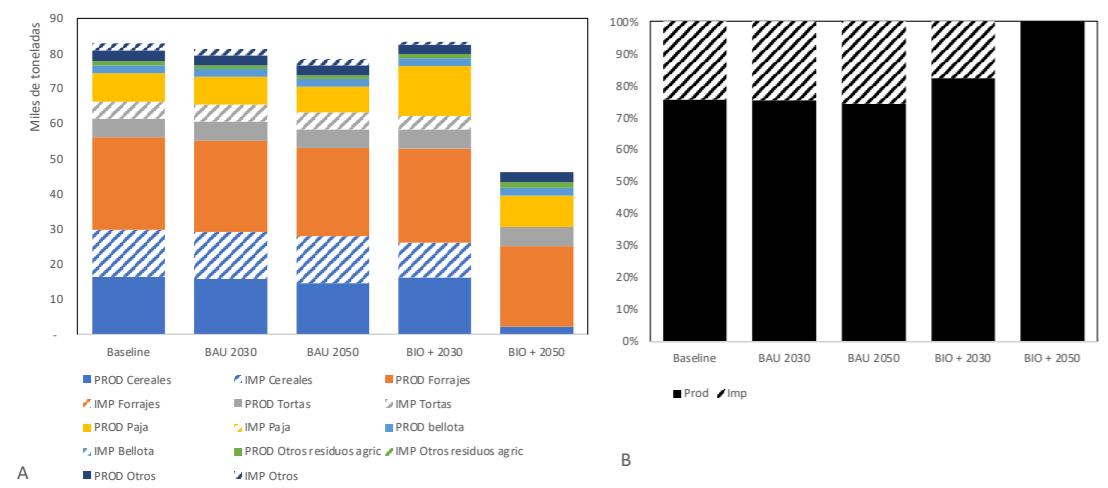


Figura 10
Consumo alimentario de la cabaña ganadera expresado en materia fresca para los distintos modelos de transición e hitos temporales. Se ha excluido el valor de los pastos para mejorar su visualizado. La figura A representa la materia fresca excluyendo el consumo de pastos, distinguiendo si es procedente de la producción nacional o de la importación, mientras que la figura B representa la proporción de producción nacional o importación. Other agrupa categorías menores al 1% del total para cada barra.

Para el modelo BAU observamos que en el hito 2030 y 2050 se sigue una tendencia similar en la dependencia internacional de los piensos, con un descenso del componente de producción nacional (75% en 2030 y 74% en 2050). Así, los cereales pasan de un 45% actualmente a un 48% de dependencia de importaciones para 2050, y las tortas pasan desde un 48% actual a un 49% para este mismo hito, con valores de 13,3 y 4,9 miles de toneladas respectivamente. Esto supone un ligero aumento con respecto al baseline para ambas categorías de producto que se refleja en el total, precisamente porque la importación pasa a significar el 26% del consumo total para 2050, es decir, 20,2 miles de toneladas, mientras que en el baseline este valor es del 24% (20,2 miles de toneladas).

Para el modelo BIO+ se observa una tendencia hacia la relocalización del consumo de la cabaña ganadera, que se reconfigura para poder depender en menor medida de las importaciones. Así, para el hito 2030, el modelo BIO+ indica que de la cantidad producida en España para la categoría de cereales se mantiene constante, reduciendo las importaciones un 25% con respecto a la actualidad, lo que suponen unas importaciones de 10 miles de toneladas. Esto impli-

ca que las importaciones reducen su contribución a la disponibilidad de cereales hasta el 38%. Este descenso de la importación también se observa en las tortas, con una reducción del 20% de las importaciones hasta alcanzar 4 miles de toneladas, mientras que se incrementan las tortas producidas en España para alimentar a la cabaña ganadera un 3% (5,5 miles de toneladas). La paja consumida por los animales, que se incrementa en este hito temporal para este modelo, tiene por origen la producción nacional, al igual que los residuos agrícolas utilizados en la cabaña ganadera. La dependencia de otros productos ("others") del extranjero también se reduce un 62% para 2030. De este modo, en total, la dependencia de productos importados se reduce del 24% actual al 18% para 2030 (14,7 miles de toneladas). Para el hito 2050, el modelo BIO+ asume la eliminación de las importaciones, por lo que todos los componentes de las dietas de la cabaña ganadera tienen procedencia nacional. Además, el consumo de cereales se reduce un 86% con respecto a la actualidad, en su totalidad de procedencia española, hasta alcanzar los 2,2 miles de toneladas.

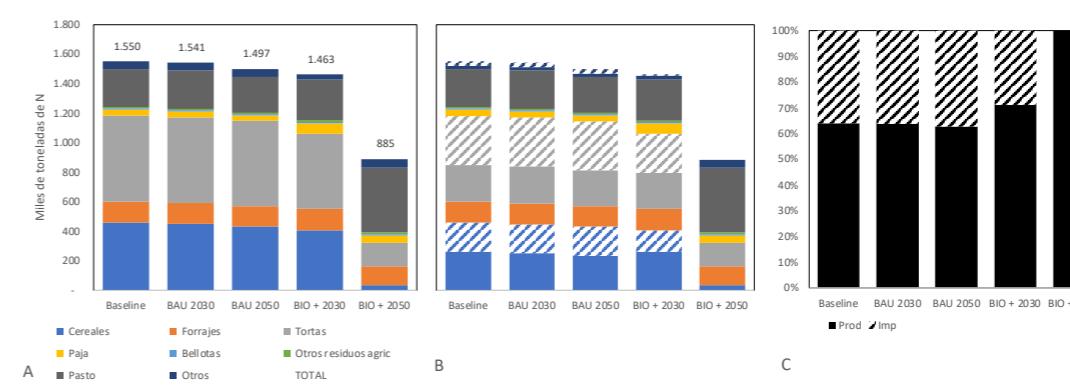


Figura 11
Consumo alimentario de la cabaña ganadera expresado en cantidad de nitrógeno (N) utilizado, para los distintos modelos de transición e hitos temporales. La figura A representa las categorías agrupadas, la figura B distingue si es procedente de la producción nacional o de la importación, y la figura C representa la proporción agrupada de producción nacional o importación. Other agrupa categorías menores al 1% del total para cada barra.

3.1.8.3. Cantidad de Nitrógeno aportado en las dietas animales

Resulta relevante observar los cambios en las dietas animales desde la óptica del N aportado. Así, en la actualidad la cabaña ganadera consume 1.550 toneladas de N, de las que el 38% proceden de tortas, el 29% proceden de cereales, el 16% de pastos y el 9% de forrajes, y el resto de otros componentes menores (paja, bellota, residuos agrícolas y otros componentes) (figura 11).

Para el hito 2030 y 2050, en el modelo BAU se observa que la composición de las dietas permanece invariable en términos relativos al N aportado, aunque los valores totales se reduzcan ligeramente (1.541 y 1.497 toneladas de N respectivamente). Este descenso, implica una caída del 1% para 2030 y del 3% para 2050. Los mayores cambios para 2050 se observan en la paja disponible para consumo animal, que desciende un 10% (38 toneladas), los cereales (6% de descenso, resultando en 431 toneladas), los pastos, que reducen su consumo un 4% (244 toneladas), y el forraje, que desciende un 4% (137 toneladas).

Para el modelo BIO+ observamos una reducción en el consumo de N procedente de cereales y tortas, con descensos del 11% y 12%

respectivamente para 2030, lo que supone 406 y 509 toneladas de N respectivamente. Del otro lado, se incrementa la aportación de N a las dietas animales procedentes de los pastos, que pasan a representar 278 toneladas de N en 2030, y de la paja (74% adicional con respecto al baseline, 73 toneladas de N). Estos cambios descienden la cantidad de N asociada al consumo de la cabaña ganadera un 6%, arrojando un valor de 1.463 toneladas de N para 2030. En el hito temporal 2050 observamos que los cambios resultan más abruptos. Así, la aportación de N de los cereales se reduce un 92% hasta alcanzar las 35 toneladas de N. En el caso de las tortas, su aportación se reduce un 72% hasta las 163 toneladas de N y, en el caso del forraje, se observa un descenso del 12%, resultando en 126 toneladas de N. Del otro lado, se observan incrementos del 72% en el caso de la aportación procedente de los pastos, que pasan a representar 439 toneladas de N, del 12% procedente de la paja, con un valor de 47 toneladas de N, y del 35% en el caso de residuos agrícolas, con un valor de 12 toneladas de N. De esta manera, el consumo de la cabaña se ve reducido en conjunto un -43% con respecto a la actualidad, con un valor de 885 toneladas de N.

Si consideramos el origen geográfico de esos flujos de N que aportan a las dietas de la cabaña, cabe destacar que, en la actualidad, el 36% del N es importado (559 toneladas de N). Destacan las contribuciones de la importación a la categoría de cereales (43% importados, 195 toneladas de N), tortas (57%, 332 toneladas de N), y otros productos (58%, 31 toneladas de N).

Para el modelo BAU, para el hito 2030 se mantiene el nivel de dependencia de N de procedencia internacional en el 36%, con 558 toneladas procedentes de terceros países. A pesar de que desciende la aportación de N procedente de cereales producidos en España un 4% hasta las 253 toneladas de N, no existen mayores cambios ni en la composición ni en el valor absoluto de los componentes. Sin embargo, en el hito 2050 se observa un ligero descenso del 3% del valor absoluto (1.497 toneladas de N), con descensos de un 10% en la aportación de N procedente de cereales procedentes de España (235 toneladas de N), y un 2% de descenso de N procedente de tortas de producción nacional (246 toneladas de N). como indicamos con anterioridad, la dependencia con respecto a terceros países presenta un ligero incremento con respecto a la actualidad, pasando desde el 36% al 37% para el 2050.

En el modelo BIO+ se observan los cambios de relocalización y reconfiguración de las dietas de la cabaña. Así, la dependencia internacional desciende hasta un 29% (421 toneladas de N) para 2030, con descensos relevantes en la importación de cereales, que descienden un 24% con respecto a la actualidad (147 toneladas de N), y del 20% de tortas (266 toneladas de N). Asimismo, descienden ligeramente las aportaciones al N total de los cereales de producción nacional (1% menos que en la actualidad, con un valor de 259 toneladas), y de las tortas (3% menor cantidad, 243 toneladas de N). El componente procedente de los pastos, en su totalidad de origen español, se incre-

menta un 9%, pasando a contribuir con 278 toneladas de N. Para el hito 2050 observamos que la componente internacional que aporta N a las dietas de la cabaña desaparece, dependiendo en exclusiva del N producido en el territorio estatal. Asimismo, observamos un descenso del 87% de la componente de cereales con respecto a la actualidad (35 toneladas de N), un descenso del 35% del componente de tortas de origen nacional (163 toneladas de N) y un descenso del 12% de los forrajes (126 toneladas de N). Del otro lado, los pastos incrementan su contribución al N en un 72% (439 toneladas de N).

3.1.9. La producción ganadera

En términos de producción, en la actualidad la carne de cerdo es la más producida de entre todos los productos de origen animal (excluyendo la leche), con 4,7 miles de toneladas de producto (52% del total), seguido de la carne de aves de corral (1,6 miles de toneladas, 18% del total) y de grasas derivadas de todas las cabañas (1,1 miles de toneladas, 12% del total) (figura 12). La carne de ternera y de ovino/caprino ascienden a 0,68 y 0,13 miles de toneladas respectivamente, lo que suponen 8% y 1% del total. También destacan los despojos, que suponen 0,65 miles de toneladas, (7% del total). Junto con otras partidas menores, los productos cárnicos para la actualidad ascienden a 9 miles de toneladas. A todo ello hay que considerar la producción láctea, que en la actualidad asciende a 7,9 miles de toneladas, y la producción de huevos (0,87 miles de toneladas).

En el modelo BAU para los hitos 2030 y 2050 no se observan diferencias, con unas asunciones continuistas que perpetúan el modelo productivo asociado a esta distribución de la cabaña ganadera. En este sentido, la carne de cerdo sigue siendo el producto principal, dependiente de piensos (solo una mínima fracción de la cabaña se encuentra asociado a los manejos de dehesas), y su protagonismo sigue siendo del 52% del total de la producción cárnica. Los únicos descensos que se reflejan levemente son en las cabañas más dependientes de los pastos, bovino y caprino/ovino, que reducen su producción un 3% y 4% respectivamente, consecuencia de los efectos del cambio climático sobre la producción de biomasa vegetal pastable (ver apartado sobre la PPN). Asimismo, los descensos en la producción de cereales, consecuencia del cambio climático, también afectan a la cabaña avícola por su gran dependencia de piensos y, aunque el descenso en la producción de cereal sea compensado con mayor nivel de importaciones, la producción agregada desciende un 3% para 2030 y 2050. Estos cambios también tienen relación con la producción de lácteos, huevos y otros productos animales. La producción de huevos permanece constante para ambos hitos, mientras que la producción láctea desciende levemente hasta 7,7 miles de toneladas, un 2% menos que en la actualidad.

En el modelo BIO+ observamos distintas situaciones en ambos hitos temporales. En el hito 2030, los procesos de la transición propues-

ta han sido implementados parcialmente, por lo que sigue existiendo cierto flujo de importación de materias primas destinadas a piensos, así como modelos intensivos de producción. Esto hace que, de un lado, la carne avícola se convierte en la protagonista del hito 2030, con el 49% de la producción cárnica (3,4 miles de toneladas), mientras que el porcino desciende drásticamente hasta componer el 24% de la producción total (1,7 miles de toneladas). Esto implica un aumento de la carne de pollo del 116% mientras que el porcino se reduce un 76% con respecto al *baseline*. Esto es resultado de una de las asunciones del modelo BIO+, donde se prioriza el consumo de cereal para piensos para aves por encima de otras cabañas de monogástricos. Así, mientras otras cabañas pueden utilizar otros componentes en sus dietas (i.e. pastos), en particular los rumiantes, las aves son dependientes del cereal. Del otro lado, las grasas descienden un 36% (0,71 miles de toneladas), la carne bovina un 19% (0,55 miles de toneladas), y los despojos un 52% (0,31 miles de toneladas). Así mismo, la ganadería que mejor se adapta a los cambios en la producción agrícola propuestos en el modelo BIO+ es la de rumiantes, por lo que la producción caprina/ovina incrementa su producción un 64% para este hito temporal, hasta alcanzar 0,21 miles de toneladas. Para el caso de la producción láctea y de huevos se observan cambios relevantes, como el descenso en la producción láctea del 24% hasta 7,1 miles de toneladas, mientras que la producción de huevos aumenta 150% hasta los 2,2 miles de toneladas (por la misma razón nombrada anteriormente con respecto a la carne de ave). En el caso de la lana, se duplica su producción para 2030, pasando de 25 toneladas a 41 toneladas, por tanto un 66% más.

En lo que se refiere al hito 2050 para el modelo BIO+, la tendencia al descenso de la cabaña porcina se refleja en que la producción de carne de cerdo desciende un 88% con respecto a la actualidad, resultando en 0,58 miles de toneladas, lo que supone el 19% de la producción cárnica para este hito temporal. Además, la carne bovina resulta ser la segunda con mayor aportación a la producción total de carne (24%), e incluso implementando sus manejos extensivos al total de la cabaña permite producir 0,73 miles de toneladas, lo que supone un 7% más de carne bovina que en la actualidad. Le sigue la producción de carne de aves (0,38 miles de toneladas), lo que implica un descenso del 76% con respecto a la actualidad. Los efectos del cambio climático y la restricción de las importaciones reducen en gran medida la disponibilidad de piensos de los que depende la cabaña avícola, algo que merma su capacidad productiva de manera drástica. La carne caprina/ovina resulta relevante por el cambio productivo que refleja, con un incremento del 83% con respecto a la actualidad (lo que significa 0,24 miles de toneladas), lo que cambia su contribución al total de productos cárnicos disponibles desde el 1% actual al 8% en el 2050. Otros tipos de carne, que engloban entre otras la procedente de la cabaña cúnica, presenta un incremento del 112% con respecto a la actualidad, arrojando un valor de 0,16 mil toneladas. En el caso de despojos comestibles, éstos se reducen un

66% con respecto a la actualidad, arrojando un valor de 0,22 mil toneladas. En lo que se refiere a otros productos animales, los productos lácteos mantienen su producción como en el hito 2030, con una caída del 10% con respecto a la actualidad, lo que suponen 7,1 miles de toneladas. El mayor cambio se observa en la producción de huevos, que desciende un 72% con respecto a la actualidad y que alcanza 0,24 miles de toneladas. Por otro lado, la lana incrementa su producción un 84% con respecto a la actualidad (45 toneladas).

En términos de cabezas de ganado se observa cómo, mientras que en el modelo BAU la cabaña ganadera no presenta modificaciones, de acuerdo con las asunciones diseñadas en la metodología, el potencial de transformación del modelo BIO+ arroja cambios relevantes de cara a la propia composición de la cabaña para el horizonte 2050 (figura 12C). Así, los mayores cambios en términos de cabeza se observan en la cabaña cúnica, que casi triplica sus cabezas, pasando de 29,4 a 82,8 millones (+182%), la cabaña ovina, que pasa de 15,6 a 32,1 millones (+106%), la caprina, que pasa de 2,7 a 5,2 millones (+89%), y la bovina, que se incrementa un 21%, pasando de 5,8 a 7 millones de cabezas. Del otro lado, la cabaña avícola y porcina sufren importantes reducciones, con el porcino con una reducción del 85%, pasando de 31,2 a 4,8 millones de cabezas, y la avícola con reducciones del 67%, pasando de 133,8 a 44,3 millones de cabezas.

Con todo ello, el panorama general es de una disminución de productos cárnicos para el hito 2050 en el modelo BIO+, con un 35% menor cantidad de productos en el modelo BIO+ que en el BAU. Sin embargo, se observa que en el modelo BIO+ existe un 11% más de carne bovina, un 94% más de carne ovina/caprina y un 142% más de carne cúnica (incorporado dentro del apartado "meat other").

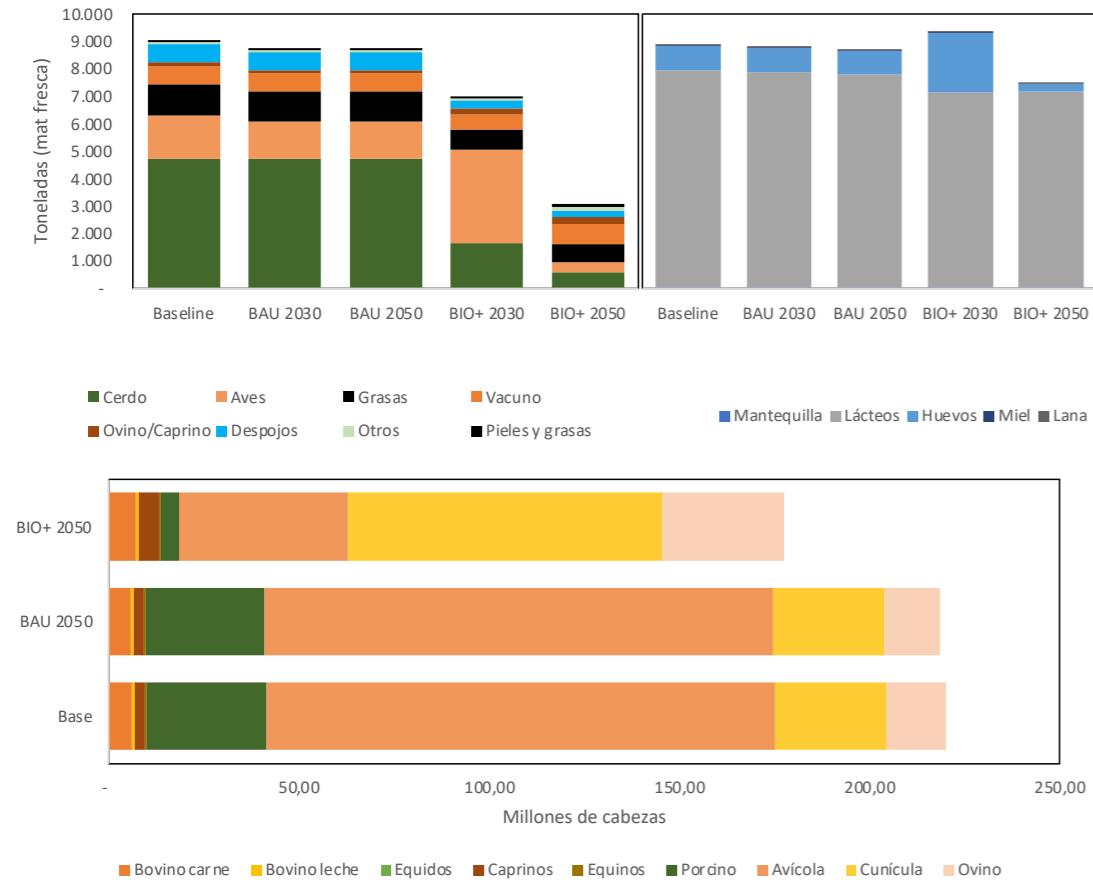


Figura 12
Producción nacional asociada a la cabaña ganadera.
La figura A expresa, en materia fresca, las categorías cárnicas, la figura B los productos lácteos, la miel, los huevos, y la lana, y la figura C representa los millones de cabezas de ganado en un momento fijo, para el hito 2050.

de importación), el trigo (7 miles de toneladas, 49% de la disponibilidad bruta importada) y el maíz (9 miles de toneladas importadas, 69% de su disponibilidad bruta importada). Este grano tiene en gran medida el destino del consumo de la cabaña ganadera, y aunque el trigo presenta una doble orientación (procesamiento para consumo humano y consumo animal), el consumo animal resulta prioritario como destino. De esta manera, los granos se distribuyen en un 92% para el abastecimiento doméstico (43,4 miles de toneladas) y un 8% se exportan (3,7 miles de toneladas). De ellos, 28,5 miles de toneladas se destinan al consumo animal, es decir, el 66% de la disponibilidad bruta.

La segunda categoría con mayor flujo de importación son los procesados (39% de su disponibilidad bruta), dentro de los que se encuentran productos de relevante importancia para la cabaña ganadera: la torta de soja. Este producto supone el mayor flujo de importación dentro de esta categoría, con 3,5 miles de toneladas importadas, a lo que hay que añadir 2,5 miles de toneladas adicionales que se producen en España. Cabe señalar que la torta de soja se genera a partir de la soja anteriormente descrita, y que esta última procede en un 100% de producto importado, por lo que el abastecimiento doméstico de torta de soja es el resultado del procesamiento en la industria española de la soja importada como materia prima. El segundo producto más relevante dentro de esta categoría es el aceite de palma, cuya disponibilidad bruta está compuesta en un 100% por importación, y que asciende a 1,8 miles de toneladas. El tercer producto más relevante dentro de esta categoría es el azúcar, con una importación de 1,3 miles de toneladas, lo que supone el 76% de su disponibilidad bruta (se produce azúcar en España a partir de la remolacha azucarera principalmente). Estos tres productos, torta de soja, aceite de palma y azúcar, suponen el 60% de las importaciones agroalimentarias en la actualidad para los productos procesados, que ascienden a 11,1 miles de toneladas. En el caso de los procesados, el 75% tiene por destino el abastecimiento doméstico y el 25% restante la exportación, lo que supone 21,6 y 7,1 miles de toneladas respectivamente. El abastecimiento doméstico es principalmente hacia piensos, con el 47% (10 miles de toneladas), seguido de alimentación (39%, 8,4 miles de toneladas), mientras que en el caso de la exportación, es principalmente alimentación (55%, 3,9 miles de toneladas).

En relación a productos animales, cabe señalar que el 30% de su disponibilidad bruta está asociada a productos importados (7,6 miles de toneladas). Destaca la leche importada, que asciende a 5,6 miles de toneladas. Solo la leche supone el 74% de las importaciones de los productos animales. Este nivel de internacionalización supone que la leche disponible procede en un 42% de importaciones. Esta disponibilidad bruta de productos animales, que asciende a 25,6 miles de toneladas, se distribuye en un 72% hacia el abastecimiento doméstico (18,5 miles de toneladas), y el 28% restante destinado a la exportación (7 miles de toneladas). Mientras que el abastecimiento doméstico se distribuye entre su uso alimentario (84%, 15,5 miles de toneladas) y su uso como piensos (10%, 1,9 miles de toneladas), en el caso de la

3.1.10. El balance comercial de las cadenas alimentarias

A partir de las producciones agrícolas, las materias primas son utilizadas para su exportación o para su utilización en las subsiguientes fases de las cadenas alimentarias (procesamiento, alimentación animal, alimentación humana u otros usos). Esto mismo ocurre con las materias primas importadas, que pueden ser reexportadas o destinadas a su utilización en cadenas de valor en España. Por ello mismo, la combinación de producción nacional se denomina disponibilidad bruta, y abastece la exportación y/o el resto de destinos en España. El conjunto de destinos en territorio nacional se denomina abastecimiento doméstico (domestic supply). Del otro lado, ciertos productos que son procesados pueden ser exportados posteriormente, o bien utilizados subsecuentemente dentro de las cadenas de valor en España, a lo que hay que añadir que ciertos procesamientos generan más de un subproducto, con distintos destinos. Por todo ello, es necesario entender el funcionamiento de productos sin procesamiento o procesados, así como los destinos comerciales que puedan tener.

Si consideramos grandes categorías de productos, podemos observar que, en la actualidad, la disponibilidad bruta de granos (47,1 miles de toneladas) se compone del 52% de productos agrícolas de España, y un 48% en productos importados (figura 13). De estos granos, los más relevantes en cuanto a importación son la soja (3,4 miles de toneladas importadas, 100% de su disponibilidad bruta procedente

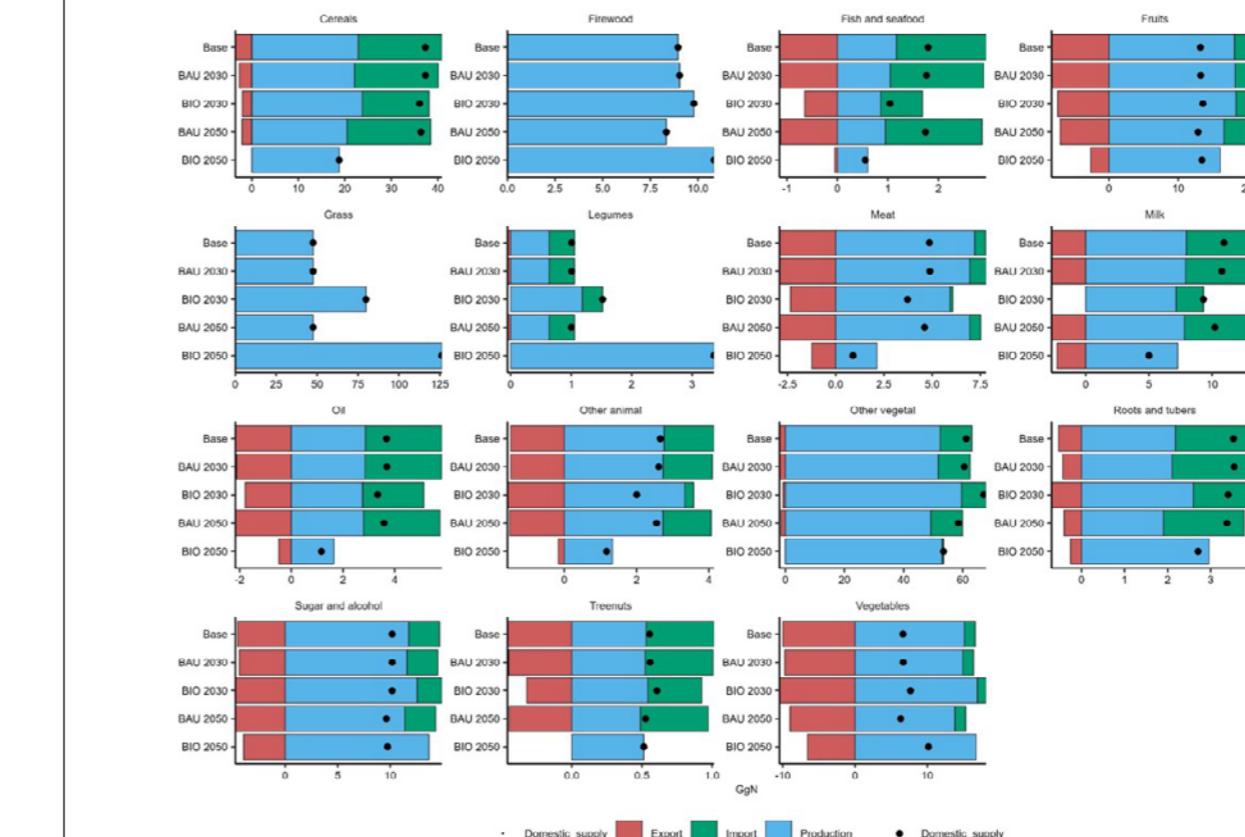
exportación el 83% es en forma de productos alimentarios y el 6% a piensos (16 y 0,5 miles de toneladas respectivamente). En cuanto a productos animales, mientras que el 30% de la disponibilidad bruta está asociada a producto importado y el 70% a producto nacional, dicha disponibilidad se distribuye en un 28% exportado y un 72% para consumo doméstico.

Para el caso de las frutas y hortalizas, podemos observar que la disponibilidad bruta se compone en un 13% de importaciones (4,8 miles de toneladas importadas), lo que junto con la producción nacional arroja un valor total de 38,1 miles de toneladas. Dentro de esta categoría encontramos la importación de piña (0,9 miles de toneladas), que carece de producción en España por lo que su disponibilidad bruta depende de la importación. Con respecto a sus destinos, este sector posee un carácter altamente agroexportador, lo que se refleja en que su disponibilidad bruta (38,1 miles de toneladas), se distribuye en un 52% para abastecimiento doméstico y un 48% hacia la exportación. Mientras que el abastecimiento doméstico se dedica en un 65% al consumo alimentario (13 miles de toneladas), un 32% está destinado a su procesamiento (6,4 miles de toneladas). Las proporciones son distintas para el caso de la exportación, con el 87% del flujo destinado a consumo alimentario (16 miles de toneladas) y el 9% a procesamiento (1,7 miles de toneladas).

Por último, en la categoría "others" se observa un 8% de aportación de la importación a la disponibilidad bruta, y que el mayor producto importado resulta la patata procesada, con 1,8 miles de toneladas, y que compone el 46% de su disponibilidad bruta a partir de la importación. La importación de patata procesada supone el 50% de la importación total en esta categoría. En este caso, el 95% de la disponibilidad bruta (43,3 miles de toneladas) es destinado a abastecimiento doméstico, es decir, 41 miles de toneladas. Dentro del abastecimiento doméstico se observa que el 65% se destina a piensos (26,5 miles de toneladas), el 24% a procesado (9,7 miles de toneladas) y solo el 10% a consumo humano (4 miles de toneladas).



Figura 14 Balance neto de las categorías de productos analizadas, lo que representa el consumo (domestic supply, punto negro) y fracciones asociadas a la producción (azul), importación (verde) o exportación (rojo) expresado en N.



El modelo BAU no muestra grandes cambios tendenciales significativos, aunque merece la pena señalar algún aspecto del cambio producido en el comercio internacional.

En términos generales, el modelo BAU muestra la influencia de la pérdida de producción en las diferentes categorías consecuencia de los factores asociados al cambio climático, que se traduce en reducir el volumen de abastecimiento doméstico dependiendo de la categoría. Así, todas las categorías presentan descensos en el volumen de producción nacional para 2050: grano (-10%), procesados (-2%), productos animales (-3%), frutas y hortalizas (-9%) y otros (-7%). Si se mantienen las tendencias comerciales actuales (misma importación), el abastecimiento doméstico se reduce en todas las categorías: granos (-2% con respecto a la actualidad), procesados (-3%), productos animales (-6%), frutas y hortalizas (-3%) y otros (-5%). Por lo tanto, este descenso en la producción influye en la capacidad de abastecimiento y exportación disponibles y, si se supone el mantenimiento de las ingestas (animales y humanas) actuales, el efecto se nota principalmente en la exportación. En particular, tres son las categorías que más se ven afectadas. De un lado, la exportación de cereales desciende un 22% para 2030 y un 39% para 2050 con respecto al *baseline*. Esto ocurre principalmente por la incapacidad de la producción nacional, que para 2050 desciende un 10% hasta alcanzar 21,9 miles de toneladas, de abastecer a los piensos para mantener a la cabaña ganadera en el modelo BAU (que mantiene su demanda y tamaño constante). Asimismo, la categoría de frutas y verduras ven reducida su exportación un 22% con respecto a la actualidad para 2050, como consecuencia principalmente de la caída en la producción del 9%. Las mayores caídas se reflejan en la producción de plátanos (-13% con respecto a la actualidad, 350 toneladas), cítricos (-10%, que caen hasta 6,1 miles de toneladas), y tomates (-9%, 4,3 miles de toneladas). La categoría de "others" también presenta un descenso relevante del 32% de las exportaciones, en parte debido a la caída del 7% de su producción. Aquí destaca la caída del 13% de la producción nacional de patatas, que desciende hasta las 1,8 miles de toneladas, y del descenso en la producción de entre 7-10% de los forrajes, dependiendo de la categoría, obteniéndose 25 miles de toneladas. Por tanto, en términos generales el modelo BAU, que asume mantener el consumo, las importaciones y el modelo productivo actual, muestra una reducción relevante de las exportaciones potenciales para el hito 2050, como consecuencia principalmente del descenso en la capacidad productiva en los escenarios climáticos analizados.

Del otro lado, el modelo BIO+ supone la eliminación paulatina de las importaciones agroalimentarias como forma de relocalización del sistema alimentario, lo que supone cambios en las cadenas de valor que afectan a la alimentación. Para el hito 2030, se observan dos tendencias contrapuestas: un incremento en la producción y un descenso en la importación. Se observan incrementos en la producción de las categorías de granos (6%), productos procesados (2%), frutas y hortalizas (6%), otros (3%), pastos (9%) y residuos (73%), mientras que

desciende un 18% la producción de alimentos de origen animal. En cuanto a la fracción importada, descienden un 30% las importaciones de "otros", y un 20% las importaciones de granos, procesados, frutas y hortalizas, mientras que en lo referente a la importación de productos animales, estos descienden un 66%. Desde el punto de vista de la disponibilidad bruta, los granos y los procesados descienden un 7% (44 y 26,8 miles de toneladas respectivamente), al igual que los productos animales un 26% (19 miles de toneladas), mientras que el resto de categorías se incrementan: frutas y hortalizas (+3%, 39,1 miles de toneladas), "otros" (+1%, 43,6 miles de toneladas) y residuos (+73%, 16 miles de toneladas). Desde el lado de los destinos, todo ello se traduce en una modificación en los flujos de exportación, que se reducen en todas las categorías, y en un cambio hacia el abastecimiento doméstico. Así, observamos descensos del 45% en la exportación de productos cárnicos (3,9 miles de toneladas exportadas), del 43% de cereales (2,1 miles de toneladas), 18% de procesados (5,8 miles de toneladas), y 2% en frutas y hortalizas (17,9 miles de toneladas). Desde el punto de vista del abastecimiento doméstico, desciende un 3% en el caso de los granos (41,9 miles de toneladas) y los procesados (20,9 miles de toneladas), mientras que en productos animales desciende un 18% (15,1 miles de toneladas). En el caso de frutas y hortalizas se observa un incremento del 7% del abastecimiento doméstico (21,2 miles de toneladas), y se mantiene constante la categoría "otros" (41,1 miles de toneladas). De las categorías que no son utilizadas por el comercio internacional, destaca el incremento en el abastecimiento doméstico de los pastos, que incrementan un 65% hasta alcanzar 82,1 miles de toneladas, y los residuos (73%, 16 miles de toneladas). Estos cambios en la orientación de la disponibilidad bruta se observan asimismo en los destinos dentro de las cadenas de valor en España (abastecimiento doméstico) y en la exportación. A pesar de que el abastecimiento doméstico de granos disminuye, se modifica su orientación hacia piensos desde el 66% actual al 62% en 2030, lo que significan 26 miles de toneladas. Asimismo, el abastecimiento doméstico de los productos animales también modifican ligeramente su orientación, reduciendo la partida que se destina a piensos en la actualidad (10%), hasta un 6% en 2030 (0,9 miles de toneladas).

Para el hito 2050, el modelo BIO+ muestra cambios de mayor calado en la ordenación de los flujos comerciales. Así, las importaciones se eliminan para todas las categorías salvo para algunas partidas dentro de la categoría "otros" (cacao, café y gomas, lo que no alcanza 0,51 miles de toneladas). En el caso de la producción, se observa una disminución de granos (-8%, 22,5 miles de toneladas), frutas y hortalizas (-3%, 32,4 miles de toneladas), y otros (-9%, 36,3 miles de toneladas), pero donde más intensa resulta la disminución es en la producción animal, con un descenso del 41% (10,6 miles de toneladas). Desde el punto de vista de los destinos, se observa un cambio en la orientación del abastecimiento doméstico de los granos, reduciendo su uso como piensos desde el 66% actual al 17%, lo que significa 3,7 miles de toneladas. Asimismo, el abastecimiento doméstico de los productos

animales también modifican ligeramente su orientación, reduciéndose hasta un 6% en 2050 (0,4 miles de toneladas). En lo que se refiere al abastecimiento doméstico de frutas y hortalizas, el hito 2050 muestra un cambio desde el destino a procesado actual (32%, 6,4 miles de toneladas), hasta el 26% (6 miles de toneladas), lo que implica un incremento en la orientación hacia el consumo humano de frutas y hortalizas frescas, ya que en la actualidad se destina el 65% del abastecimiento doméstico a su consumo en fresco (13 miles de toneladas consumidas), y en 2050 ascenderá un 73% (17,2 miles de toneladas consumidas). Además de estos cambios en el abastecimiento doméstico, en el hito 2050 siguen existiendo ciertos flujos de exportación. El 21% de la disponibilidad bruta de los procesados (3,6 miles de toneladas), el 33% de los productos animales (3,5 miles de toneladas), el 27% de las frutas y hortalizas (8,8 miles de toneladas) y el 2% de los productos de las categoría "otros" (0,82 miles de toneladas) son exportados.

3.2. Las cadenas alimentarias pesqueras

3.2.1. Situación actual del sistema alimentario pesquero

El análisis y reconstrucción de las cadenas alimentarias pesqueras nos ha permitido identificar el funcionamiento actual del sector pesquero en España (figura 15).

En términos generales se observa que la mayor parte de la biomasa pesquera (60%) que entra en el sistema alimentario español procede de importaciones, con 1,2 millones de toneladas procedentes de terceros países (66% del total de importaciones) y 0,57 millones de toneladas procedentes de países del ámbito europeo (34% del total de importaciones). El alto grado de internacionalización de los productos pesqueros queda en evidencia cuando observamos que, en lo que se refiere a la producción acuícola (0,30 millones de toneladas, el 10,3%) y capturas en caladero nacional (0,31 millones de toneladas, el 10,7%), estas dos partidas suponen solo el 21% de la disponibilidad bruta de productos marinos que se incluyen en el sistema alimentario en España. Es relevante también tener en cuenta las capturas de barcos españoles en caladeros internacionales (suponen el 19% restante), que superan a las capturas en caladero nacional, alcanzando las 0,49 millones de toneladas en aguas fuera de la comunidad europea y con 0,07 millones de toneladas en aguas europeas.

Del conjunto de la disponibilidad bruta (2,9 millones de toneladas) observamos que los productos congelados son los que mayor

peso tienen en conjunto (52%, 1,5 millones de toneladas), seguido de los productos frescos (35%, 1 millones de toneladas), y los productos con algún tipo de procesamiento (10%, 0,31 millones de toneladas). Los piensos, en su mayoría importados, también contribuyen a la disponibilidad bruta, con el 3%.

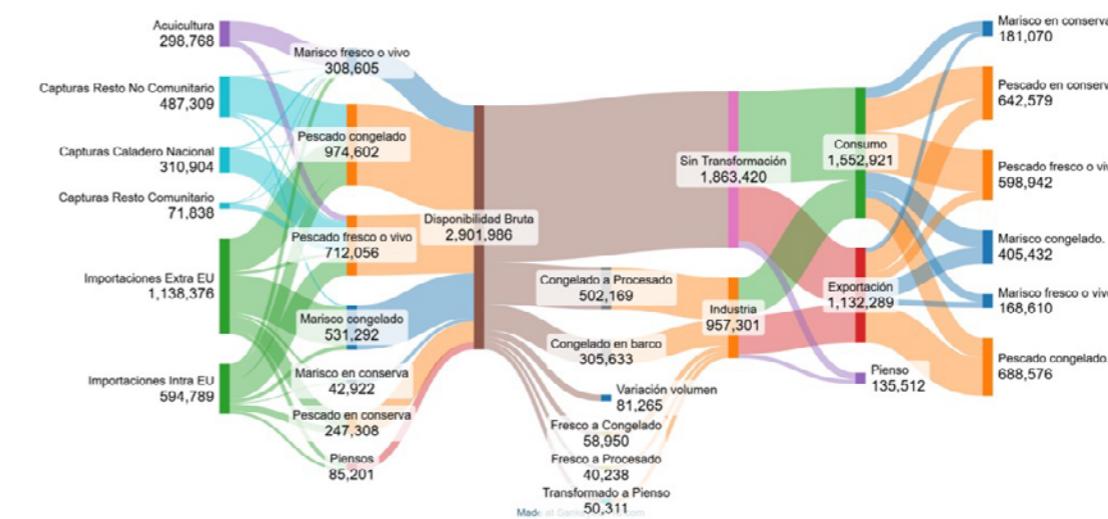


Figura 15
Representación de las cadenas alimentarias pesqueras en la actualidad. Valores medios para los años 2017-2021, expresados en toneladas.

La disponibilidad bruta puede presentar dos destinos: el consumo en España o su exportación. Así, el 53% de la disponibilidad bruta tiene por destino el consumo doméstico (1,6 millones de toneladas), mientras que el 39% es exportado (1,1 millones de toneladas). Además, existe también un volumen de 0,13 millones de toneladas que tienen como destino la producción de piensos que sirven para alimentar la cabaña ganadera y acuícola.

Otro elemento relevante del sistema pesquero-acuícola es el procesamiento industrial de los productos pesqueros. La industria de transformación produce de media 1 millón de toneladas anuales de productos procesados, incluyendo ultracongelados y conservas. De estas, los insumos que proceden de productos congelados suponen la mayoría, con 0,50 millones de toneladas congeladas que se utilizan para fabricar las conservas, a lo que hay que añadir 0,31 millones de toneladas más procedentes de capturas congeladas en barco. En total, el 84% de las materias primas utilizadas por la industria proceden de productos congelados que han sido importados o capturados y congelados en alta mar.

3.2.2. Las importaciones: un pilar clave del sistema actual

Las importaciones constituyen la principal fuente de abastecimiento de productos del mar, aportando 1,7 millones de toneladas (Figura 15). Los buques con arte de arrastre (incluyendo los arrastreros congeladores) son los que más contribuyen a las importaciones, con 0,8 millones de toneladas, aportando el 44% de las importaciones y consolidándose como la técnica predominante en el comercio internacional de productos pesqueros (figura 16).

Del total de volumen importado de productos del mar, 1,2 millones de toneladas provienen de países extracomunitarios, con un claro predominio de los métodos de arrastre (0,41 millones de toneladas), arrastreros congeladores (0,23 millones) y palangre de fondo (0,13 millones), que en conjunto representan el 67% de las importaciones extracomunitarias.

Por su parte, las importaciones desde la UE alcanzan 0,60 millones de toneladas, donde las principales artes de pesca son el arrastre y cerco, sumando 0,21 millones de toneladas (40% de este flujo de importaciones). Asimismo, los arrastreros congeladores juegan un papel relevante, con 0,21 millones de toneladas importadas por año, de las cuales el 90% proceden de fuera de la UE.

También destaca la acuicultura, que aporta 0,21 millones de toneladas (14% del total del flujo de productos del mar importado). Su peso es mayor en el comercio intracomunitario (0,10 millones de toneladas, ocupando el segundo lugar), mientras que en las importaciones extracomunitarias se sitúan en cuarta posición (0,12 millones de toneladas).

3.2.3. Las capturas de la flota española: una actividad mayoritariamente en el extranjero

Las capturas representan el segundo mayor aporte a la disponibilidad bruta actual, sumando 0,89 millones de toneladas. Esta captura se realiza en distintos caladeros, no solo en los nacionales, precisamente por el alto grado de internacionalización de nuestra flota. Entre las principales modalidades de pesca destacan los atuneros cerqueros congeladores (0,22 millones de toneladas, 26% del total), el cerco (0,17 millones, 22%), los arrastreros congeladores (0,20 millones, 18%) y el arrastre (0,10 millones, 14%), que en conjunto representan el 81% de las capturas totales.

El principal origen de estas capturas son los caladeros no comunitarios, con 0,49 millones de toneladas (56% del total). En estas zonas predominan los atuneros cerqueros congeladores (0,22 millones de toneladas, 46%) y los arrastreros congeladores (0,16 millones, 32%), que en conjunto aportan el 44% de las capturas de la flota española.

El segundo mayor aporte de la flota española proviene del caladero nacional, con 0,31 millones de toneladas (36% del total de capturas nacionales). En esta área destacan el cerco (0,17 millones de toneladas, 56%) y el arrastre (0,07 millones, 24%).

En términos de producción, la acuicultura desempeña un papel clave en la disponibilidad de diversas especies, con un claro predominio del mejillón de bateas cultivado en Galicia. Especies de bivalvos tales como la almeja fina, babosa y berberechos también representan un valor económico muy destacado en varias comunidades costeras. Otras especies de peces como la dorada, lenguado, lubina, rodaballo, y trucha, contribuyen a la diversidad de especies cultivadas en España a través de su crecimiento y engorde en base a piensos. El cultivo de peces asciende a 0,06 millones de toneladas, que se producen principalmente en Galicia (20%), Andalucía (18%), la Comunidad Valenciana (17%) y la Región de Murcia (15%). En cuanto a productos, destaca la Lubina (0,02 millones de toneladas), la trucha arco iris (0,01 millones de toneladas) y en menor medida la dorada y el rodaballo (0,01 millones de toneladas cada una). Mientras que en Galicia la mayor parte del cultivo de pescado está asociado al rodaballo (76%), en Andalucía se dedica principalmente a la lubina (71% de su producción). En el caso de la Comunidad Valenciana se distribuye entre la dorada (54% de su producción) y la lubina (46%), siendo esta última la protagonista de la Región de Murcia (83%).

Finalmente, el caladero comunitario aporta 0,72 millones de toneladas (8% del total de capturas), siendo la zona de menor importancia en términos de biomasa. En este área, los principales métodos de captura son los arrastreros y las artes fijas, con 0,03 y 0,02 millones de toneladas, respectivamente.

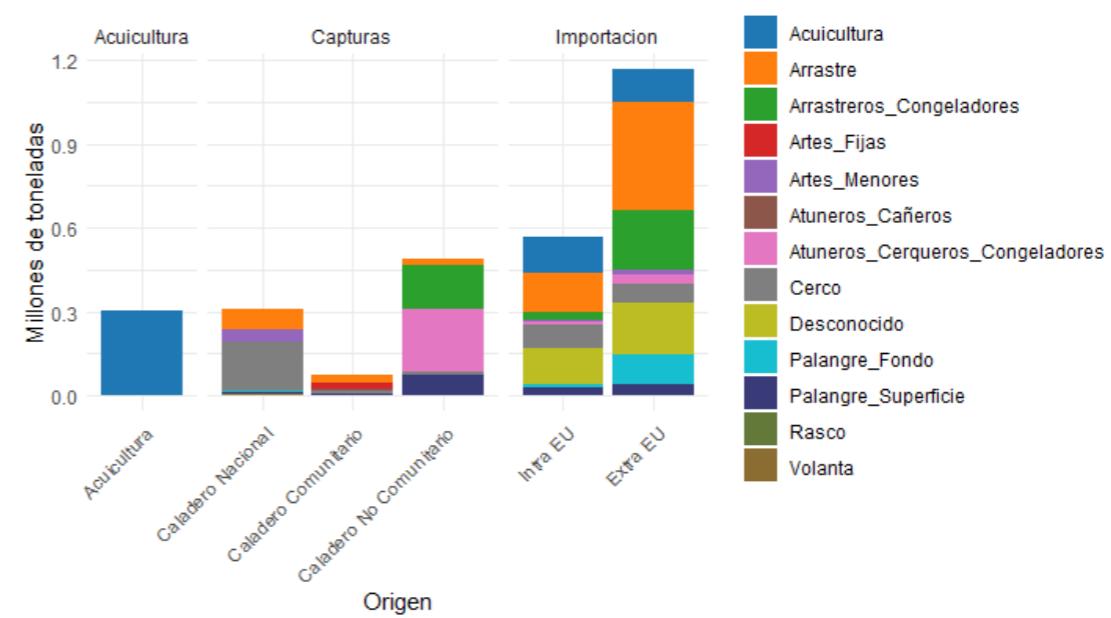


Figura 16
Disponibilidad bruta en la situación actual, categorizada según su origen (acuicultura, captura o importación), y su región (acuicultura en territorio español, caladero nacional para las aguas que circundan el estado, comunitario cuando se trata de aguas europeas y no comunitario cuando se realizan en otras aguas). Se ha desagregado la importación en función de si se trata de países europeos o no.

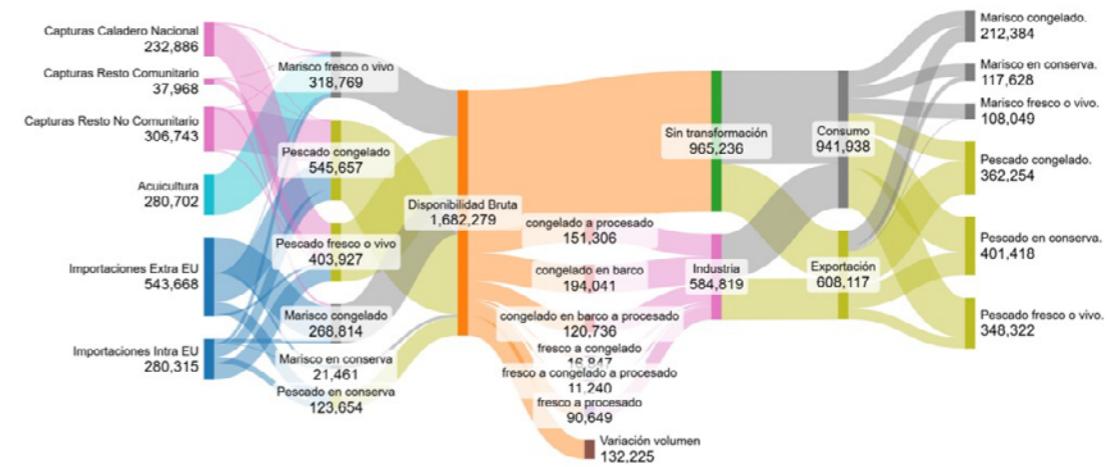
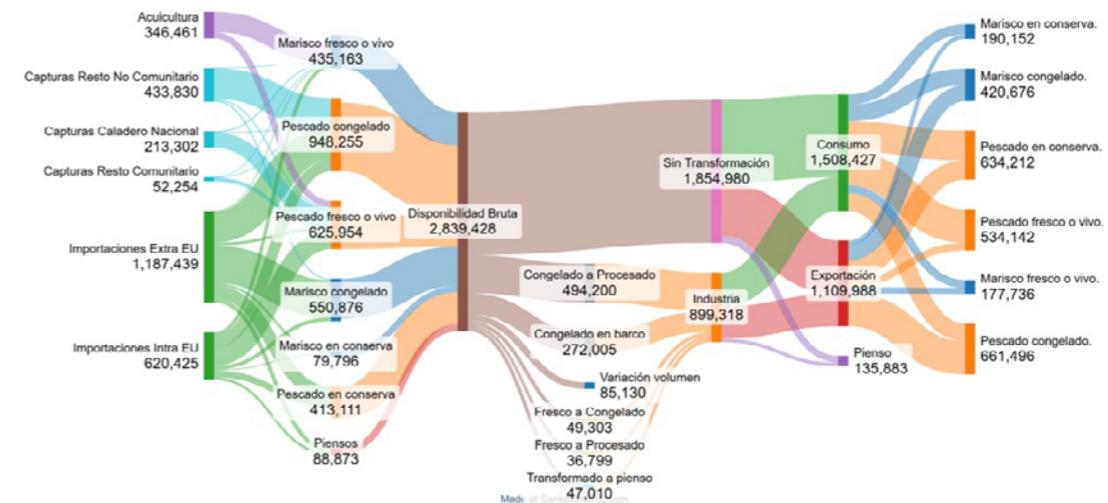
3.2.4. Las proyecciones de las cadenas alimentarias pesqueras en los horizontes temporales 2030-2050

Los modelos y estimaciones realizadas en este informe se han construido bajo tres escenarios climáticos. Con vistas a facilitar la lectura y comprensión de los datos, se ha optado por centrar las representaciones en el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5) y, en caso de considerarse una diferencia significativa en los resultados, se indicará convenientemente.

Hito temporal 2030

Las proyecciones climáticas y su impacto en las capturas quedan reflejadas en el modelo BAU, donde se prevé un descenso en la disponibilidad bruta de 62.500 toneladas para 2030 (-2%). Aunque esta reducción no es drástica en el volumen total en términos absolutos, sí se observan cambios significativos en la composición de los flujos de productos del mar (Figura 17.). En cuanto a la producción pesquera, las capturas en aguas de terceros países no comunitarios disminuirán un 11%, pasando de 0,49 a 0,43 millones de toneladas. En aguas comunitarias, la caída será aún mayor, con una reducción del 27% (de 0,07 a 0,05 millones de toneladas). Por su parte, las capturas en caladero nacional sufrirán una disminución del 31%, reduciéndose de 0,31 a 0,21 millones de toneladas.

La dependencia de las importaciones aumenta un 4%, pasando de 1,7 millones de toneladas en la actualidad a 1,8 millones en 2030, lo que refuerza el papel del comercio exterior en el suministro de productos pesqueros (64% de importaciones con respecto a la disponibilidad bruta). En cuanto a la fracción que representa las capturas de la flota española, su aportación a la disponibilidad bruta pasa de representar el 30% al 25%.



La acuicultura en el modelo BAU muestra una tendencia al alza cuya producción se prevé que crecerá un 16%, pasando de 0,30 a 0,35 millones de toneladas en 2030. Este aumento sugiere un mayor peso de la acuicultura en la estrategia nacional de abastecimiento de productos del mar ante la reducción progresiva de las capturas en el caladero nacional, y en aguas comunitarias y no comunitarias.

En lo que se refiere a los escenarios, las principales diferencias entre el modelo BAU y el BIO+ estriban en que la aplicación de este modelo supone la reducción o sustitución de ciertas artes de pesca y la restricción en el flujo de importaciones. Ello supondría una disponibilidad bruta de un 41% inferior a la modelada en el BAU, pasando de 2,84 millones de toneladas a 1,68 millones de toneladas.

También se observan diferencias en el caso de las capturas, promoviendo una relocalización de la actividad pesquera en términos relativos. En el BAU, las capturas en caladero nacional representarían el 7,5% de la disponibilidad bruta (0,21 millones de toneladas), mientras que en el BIO+ esta proporción se elevaría al 13,8% (0,23 millones de toneladas). Sumando la producción acuícola (0,28 millones de toneladas), la producción dentro del territorio español alcanzaría el 30,5% de la disponibilidad bruta, frente al 19,7% en el BAU.

En el ámbito industrial, el modelo BAU refleja un descenso del 6% en la producción, pasando de 0,96 millones de toneladas en la actua-

Figura 17
Comparativa en los flujos de las cadenas pesqueras en el escenario BAU (superior) y BIO (inferior) en 2030 en el escenario climático SSP2-RCP4.5.

lidad a 0,90 millones en 2030. Sin embargo, en el BIO+, la reducción es mucho más acusada, alcanzando el 39%, con una producción de 0,58 millones de toneladas. Esta diferencia responde a la supresión de la flota industrial y la reducción de importaciones, lo que limita la disponibilidad de materias primas para la industria y reconfigura el sistema hacia un modelo más simplificado, enfocado en productos frescos o con bajo procesamiento.

El modelo BIO+ también prioriza el consumo interno sobre la exportación de productos del mar, reduciendo la dependencia del comercio global tanto en importaciones como en exportaciones. Mientras que en el modelo BAU las exportaciones pasarían de 1,13 millones de toneladas a 1,10 millones en 2030, en el modelo BIO+ caerían a 0,61 millones de toneladas, lo que supone una reducción del 54,8% respecto al BAU. La disminución en el modelo BAU se debe exclusivamente a los efectos del cambio climático, lo que confirma que los escenarios climáticos prevén un descenso en la capacidad de exportación del sector a medio plazo.

Hito temporal 2050

En 2050, la disponibilidad bruta en el modelo BAU se reduce ligeramente en comparación con la situación actual, pasando de 2,9 a 2,8 millones de toneladas, lo que supone un descenso del 3%. Sin embargo, los flujos de biomasa que la componen experimentan cambios significativos (figura 18).

La acuicultura sigue una tendencia de crecimiento, aumentando su producción nacional en un 21% hasta alcanzar 0,36 millones de toneladas, consolidando su papel en el abastecimiento de productos del mar. Las capturas de la flota española disminuyen un 32%, pasando de 0,90 a 0,59 millones de toneladas.

Las mayores reducciones en capturas se observan en el caladero nacional, que pasa de 0,31 a 0,15 millones de toneladas (-53%), y en aguas comunitarias, que disminuyen de forma notable de 0,72 a 0,36 millones de toneladas (-50%). En los caladeros de terceros países no comunitarios, la reducción es del 16%, con capturas que disminuyen de 0,49 a 0,41 millones de toneladas. Para compensar esta caída en las capturas, las importaciones aumentan un 8%, alcanzando 1,9 millones de toneladas en 2050. De este total de importaciones, el 66% (1,2 millones de toneladas) proviene de fuera de la UE y el 60% (1,1 millones de toneladas) corresponde a productos congelados, de los cuales 0,41 millones de toneladas proceden de terceros países.

En la comparación entre la situación actual, BAU y BIO+, la diferencia más notable radica en la simplificación del flujo de biomasa en el modelo BIO+. Mientras que la reducción en la disponibilidad bruta en BAU es mínima (-3,2%), en BIO+ se supera el 80% respecto a la situación actual y el modelo BAU. Esto se debe, principalmente, a la eliminación de las importaciones.

Las capturas también se reducen drásticamente en el modelo BIO+, con una caída del 69% respecto a la situación actual (de 0,9 a

0,27 millones de toneladas) y un 54% menos que en BAU (0,59 millones de toneladas). La mayor disminución se observa en los caladeros de terceros países no comunitarios, donde las capturas en BIO+ caen un 97%, mientras que en BAU la reducción es del 17%.

En aguas comunitarias, las capturas se reducen en un 50% en BAU y un 53% en BIO+, con una diferencia del 5% entre ambos modelos. Esta reducción se produce en ambos casos por los efectos del cambio climático y, en el caso del BAU, la tendencia de las capturas está en descenso al igual que en la actualidad. En el caladero nacional, la disminución es mayor en BAU (-53%) que en BIO+ (-27%) respecto a la situación actual, lo que implica que las capturas en el caladero nacional aumentan un 55% en BIO+ en comparación con BAU.

Tal como se establece en las asunciones del modelo, la priorización del consumo interno y la reducción de la transformación industrial son pilares de BIO+. En términos socioeconómicos, la importante disminución de la disponibilidad bruta conllevaría una fuerte crisis del sector de la industria de transformación, que en BIO+ se reduce en más del 85% respecto a la situación actual y al BAU, orientándose hacia materias primas procedentes de caladeros nacionales y favoreciendo el consumo de productos frescos.

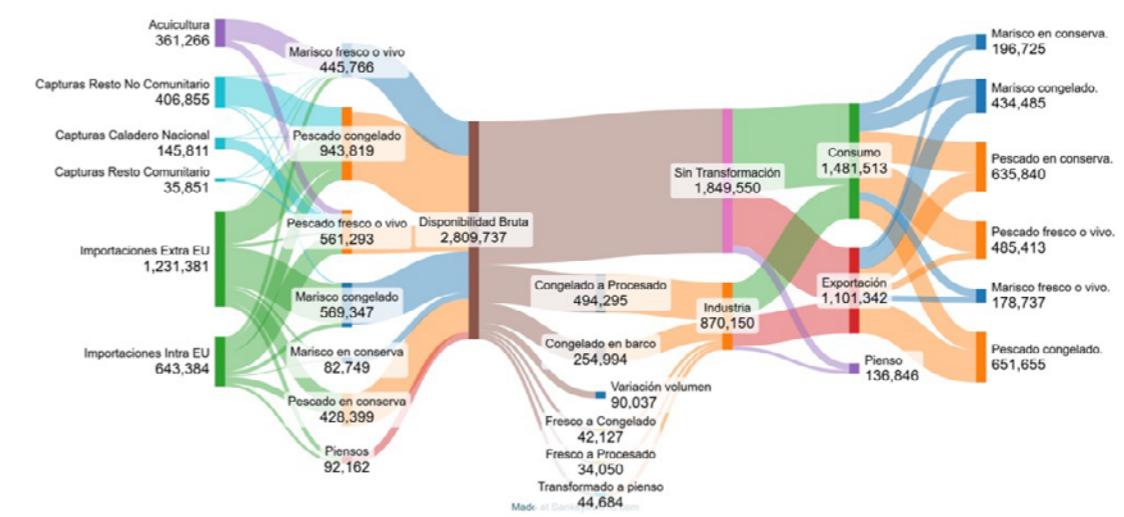


Figura 18
Comparativa
en los flujos
de las cadenas
acuícola-
pesqueras
en el escenario
BAU (superior)
y BIO (inferior)
en 2050 en
el escenario
climático
SSP2-RCP4.5.

3.2.5. Tendencias futuras en la disponibilidad bruta: reducción de capturas, crecimiento de la acuicultura y cambios en la dependencia comercial

Según las tendencias descritas, se prevé un descenso en las capturas de los caladeros no comunitarios, que en el modelo BAU pasarán de 0,43 millones de toneladas en 2030 (un 11% menos que en la actualidad) a 0,41 millones en 2050 (-17%). En el caladero nacional, la captura también disminuirá en el modelo BAU, pasando de 0,31 millones de toneladas en la actualidad a 0,23 millones en 2030 (-31%) y 0,15 millones en 2050 (-53%). Del mismo modo, las capturas en aguas europeas caerán un 27% en 2030 (0,05 millones de toneladas) y un 50% en 2050 (0,04 millones de toneladas). Estas variaciones están influenciadas por cambios en la flota, tendencias históricas de las capturas y los efectos de los escenarios climáticos sobre los recursos pesqueros.

Por el contrario, la acuicultura de producción nacional en el modelo BAU mostrará un crecimiento progresivo, ya que se prevé un aumento del 16% en 2030 (hasta 0,35 millones de toneladas) y un 21% en 2050 (0,36 millones de toneladas).

Para compensar la caída neta en las capturas del modelo BAU, con pérdidas de 0,17 millones de toneladas en 2030 y 0,28 millones en 2050, se produciría un aumento de las importaciones. Así, siguiendo la tendencia histórica de evolución de las importaciones, su peso en la disponibilidad bruta pasará del 60% actual (1,8 millones de toneladas) al 63% en 2030 y al 67% en 2050, alcanzando 1,8 y 1,9 millones de toneladas, respectivamente.

El modelo BIO+ plantea un futuro con una disponibilidad bruta más ajustada sin importaciones, donde las capturas disminuyen significativamente en los distintos caladeros, compensadas en parte por el crecimiento de la acuicultura siguiendo las tendencias actuales.

Las capturas en caladeros no comunitarios, actualmente el principal origen de la biomasa pesquera, experimentarán una drástica reducción, pasando de 0,31 millones toneladas en 2030 a solo 11.280 toneladas en 2050, lo que supone una caída del 96%. En el caladero nacional, la extracción disminuirá de forma más moderada, pasando de 232.885 toneladas en 2030 a 226.052 toneladas en 2050 (-3%). Mientras tanto, las capturas en aguas comunitarias también descenderán, de 37.968 toneladas en 2030 a 34.041 toneladas en 2050 (-10%).

En este contexto, la acuicultura se convierte en el pilar del modelo BIO+, con un crecimiento sostenido, principalmente compuesta de mejillón y otros moluscos bivalvos que no precisan del uso de piensos para su producción. Se prevé un aumento del 10% en 2030 (hasta alcanzar 280.702 toneladas) y del 11% en 2050 (282.971 toneladas), consolidándose como una alternativa clave ante el declive de las capturas.

El papel de las importaciones es menos determinante en el modelo BIO+, en comparación con el modelo BAU. En 2030, las importaciones extracomunitarias suman 0,56 millones de toneladas, pero en 2050 desaparecen del sistema. Esta reducción indica una apuesta por la autosuficiencia y una menor dependencia de mercados exteriores.

3.2.6. Cambios en las artes de pesca y procedencia de las capturas en los modelos BAU y BIO+

El modelado de los hitos temporales analizados muestra diferencias significativas en los cambios de uso de las artes de pesca y la procedencia de las capturas, lo que impacta directamente en la disponibilidad bruta en los modelos BAU y BIO+ para 2030.

3.2.6.1. Modelo BAU en el hito 2030: Dependencia de importaciones y capturas en caladeros no comunitarios

En el modelo BAU 2030, la acuicultura sigue siendo relevante, pero mantiene una alta dependencia de importaciones. Este modo de producción aporta 0,61 millones de toneladas (21% del total de biomasa disponible), distribuidas entre producción nacional (0,35 millones de toneladas, 57%) e importaciones (0,26 millones de toneladas, 43%). De las importaciones, 0,12 millones de toneladas (20%) provienen de países extracomunitarios y 0,14 millones de toneladas (23%) de la UE.

Las capturas en caladeros no comunitarios juegan un papel clave, sumando 0,43 millones de toneladas (15% del total de biomasa), especialmente en la pesca de túvidos y especies objetivo de la pesca de arrastre. Los atuneros cerqueros congeladores dominan este caladero con 0,20 millones de toneladas (46%), seguidos de los arrastreros congeladores (0,14 millones de toneladas, 32%) (figura 19).

El caladero nacional contribuye con 0,21 millones de toneladas (7,5% del total). En esta zona, el cerco es la modalidad predominante, con 0,12 millones de toneladas (56%), seguido del arrastre (51.208 toneladas, 24%) y las artes menores (29.568 toneladas, 14%).

El caladero comunitario tiene una participación menor, con 52.253 toneladas (2% del total). Aquí, las principales artes de pesca son el arrastre (20.270 toneladas, 39%), las artes fijas (16.520 toneladas, 32%) y el cerco (8.137 toneladas, 16%).

El modelo BAU 2030 sigue altamente dependiente de importaciones, con el arrastre y los arrastreros congeladores como las principales modalidades de pesca para la importación de las capturas que realizan. En total, las importaciones representan el 60% de la disponibilidad bruta (1,80 millones de toneladas). De estas, las importaciones extra comunitarias llegan a los 1,21 millones de toneladas (42% del total). Las modalidades de pesca más importantes son el arrastre (0,40 millones de toneladas, 33%) y los arrastreros congeladores (0,22 millones de toneladas, 18%). Las importaciones de la EU representan 0,59 millones

de toneladas (21% del total), siendo el arrastre (0,14 millones de toneladas, 24%) y el cerco (88.686 toneladas, 15%) los artes más destacados.

3.2.6.2. Modelo BIO+ en el hito 2030: Reducción de importaciones y priorización de producción nacional

En el modelo BIO+ para 2030, la disponibilidad bruta se reduce drásticamente, con un total de 1,67 millones de toneladas, lo que supone un 41% menos que en BAU. La acuicultura sigue desempeñando un papel fundamental, con 0,41 millones de toneladas, equivalentes al 24% de la disponibilidad bruta. Sin embargo, en este modelo la dependencia de las importaciones disminuye significativamente, ya que solo 0,12 millones de toneladas (31%) provienen del exterior, frente al 43% en BAU. En particular, las importaciones extracomunitarias caen un 52%, pasando de 0,12 a 0,06 millones de toneladas, mientras que las importaciones intracomunitarias se reducen un 52%, de 0,14 a 0,07 millones de toneladas.

Las capturas en el **caladero nacional** aumentan, alcanzando 0,23 millones de toneladas, lo que representa el 14% del total y supone un incremento del 9% respecto a BAU. Dentro de este caladero, el cerco es la modalidad predominante, con 0,17 millones de toneladas (74%), mientras que las artes menores ganan peso con 42.796 toneladas (18%). En el **caladero comunitario**, la captura se reduce ligeramente a 37.968 toneladas, lo que representa el 2% del total, con predominio de las artes fijas, que aportan 20.396 toneladas (54%) y el cerco, con 10.046 toneladas (26%). Por el contrario, las **capturas en caladeros no comunitarios** disminuyen significativamente, alcanzando solo 0,31 millones de toneladas, lo que supone el 18% del total y una reducción del 29% respecto a BAU. En este caladero, los atuneros cerqueros congeladores siguen siendo la modalidad más relevante, con 0,15 millones de toneladas (48%), seguidos de los arrastreros congeladores, con 0,10 millones de toneladas (33%).

Las importaciones en BIO+ se reducen marcando una transición hacia una mayor autosuficiencia. En este sentido, las importaciones extracomunitarias disminuyen de 1,21 millones de toneladas en BAU a 0,56 millones en BIO+, y las intra comunitarias disminuyen de 0,59 millones de toneladas en BAU a 0,27 millones en BIO+, lo que supone una reducción de más de 50% en ambos casos. Dentro de este flujo, el arrastre pasa de 0,40 a 0,19 millones de toneladas, lo que representa una caída del 52%, mientras que los arrastreros congeladores bajan de 0,22 a 0,10 millones de toneladas, con una reducción del 55%. De manera similar, las importaciones intracomunitarias se reducen de 0,59 millones de toneladas en BAU a 0,27 millones en BIO+, lo que supone un descenso del 55%.

El modelo BIO+ prioriza la producción acuícola-pesquera interna, fortaleciendo el caladero nacional y reduciendo la dependencia de importaciones en más del 50%. En términos generales, este modelo refleja una profunda reestructuración del sistema alimentario de productos del mar, con una fuerte reducción de las capturas y una

sustitución parcial por la acuicultura. Esto sugiere un sistema más autosuficiente y sostenible, con un menor impacto ambiental, aunque con una disponibilidad bruta más reducida y un ajuste significativo en la oferta de productos pesqueros.

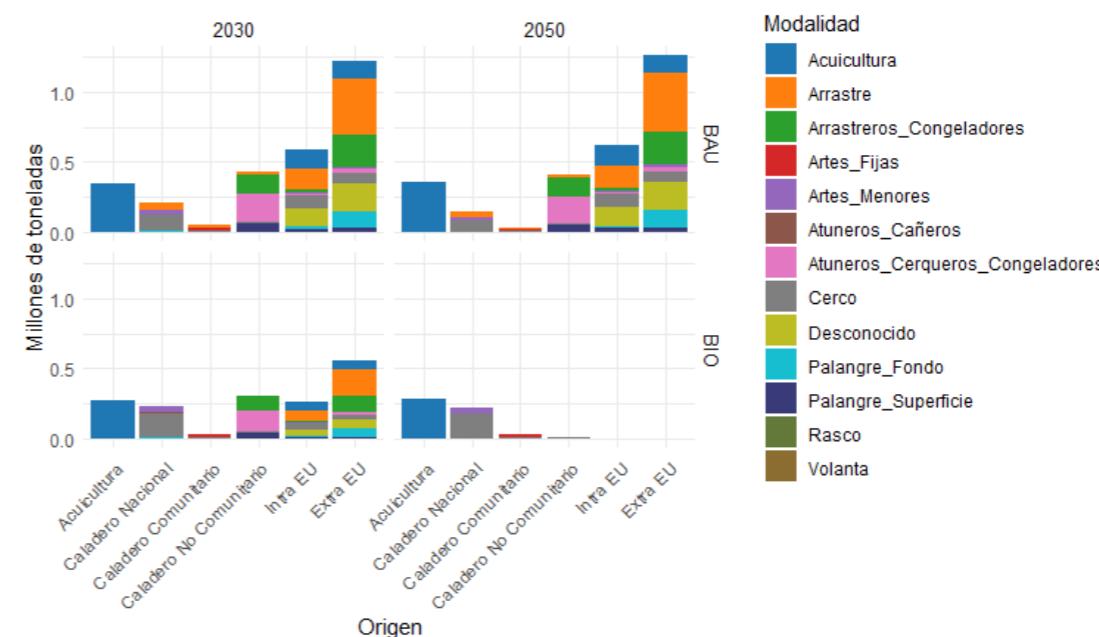


Figura 19
Disponibilidad bruta en los hitos temporales 2030 y 2050, en el escenario climático SSP2-RCP4.5, categorizada según su origen (acuicultura, captura o importación), y su región (acuicultura en territorio español, caladero nacional para las aguas que circundan el estado, comunitario cuando se trata de aguas europeas y no comunitario cuando se realizan en otras aguas). Se ha desagregado la importación en función de si se trata de países europeos o no.

3.2.6.3. Modelo BAU 2050: Persistencia de la dependencia de importaciones y disminución de capturas

El modelado para el año 2050 en el escenario BAU muestra una leve reducción de la disponibilidad bruta, alcanzando 2,82 millones de toneladas, lo que supone un descenso del 3% respecto a la situación actual. Sin embargo, los flujos internos de biomasa experimentan cambios significativos, con una mayor dependencia de importaciones y una caída de las capturas en los caladeros tradicionales.

La acuicultura mantiene su papel clave dentro del modelo BAU 2050, con una producción estimada anual de 0,63 millones de toneladas, lo que equivale al 22% del total de la disponibilidad bruta. De esta cantidad, 0,36 millones de toneladas corresponden a producción nacional, mientras que 0,27 millones de toneladas provienen de importaciones, lo que confirma una dependencia sostenida del comercio exterior. Dentro de las importaciones, 0,13 millones de toneladas provienen de países extracomunitarios y 0,14 millones de toneladas de la UE, manteniendo una distribución similar a la del 2030.

Las capturas en los caladeros nacionales, comunitarios y no comunitarios disminuyen en términos absolutos, representando 0,59 millones de toneladas, el 21% de la disponibilidad bruta, lo que supone una caída del 32% respecto a la situación actual. En el caladero nacional, la biomasa extraída se reduce a 0,15 millones de toneladas (5% del total de biomasa), aunque el cerco sigue siendo la modalidad predominante

con 81.590 toneladas (56%), seguido del arrastre con 35.005 toneladas (24%), mientras que las artes menores aportan 20.212 toneladas (14%).

En el caladero comunitario, la disponibilidad bruta alcanza 35.851 toneladas (1% del total), con un dominio del arrastre (13.907 toneladas, 39%), seguido de las artes fijas (11.335 toneladas, 32%) y el cerco (5.583 toneladas, 16%).

Por su parte, las capturas en caladeros no comunitarios experimentan una reducción del 16%, alcanzando 0,41 millones de toneladas (14% del total de biomasa). En esta zona, los atuneros cerqueros congeladores siguen dominando con 0,19 millones de toneladas (46%), seguidos de los arrastreros congeladores, que aportan 0,13 millones de toneladas (32%).

A pesar de estos descensos en la producción local, las importaciones continúan creciendo y alcanzan el 66% de la disponibilidad bruta, consolidando una tendencia hacia una mayor dependencia del comercio exterior. Las importaciones extracomunitarias ascienden a 1,26 millones de toneladas (45% del total de biomasa), con el arrastre como el arte de pesca más relevante, representando 0,42 millones de toneladas (33%), seguido de los arrastreros congeladores con 0,23 millones de toneladas (18%).

Las importaciones procedentes de la Unión Europea también aumentan, alcanzando 0,61 millones de toneladas (21% del total de biomasa). En este caso, el arrastre continúa siendo la principal modalidad, con 0,15 millones de toneladas (24%), mientras que el cerco aporta 91.968 toneladas (15%).

El modelo BAU 2050 refuerza la tendencia de concentración de las capturas en caladeros internacionales y la persistencia de importaciones como eje del sistema alimentario pesquero. La acuicultura sigue creciendo, pero sin sustituir completamente la reducción de las capturas, mientras que la industria pesquera mantiene su fuerte dependencia de los productos importados. Este escenario plantea desafíos en términos de sostenibilidad y resiliencia del sistema, ya que la creciente dependencia del comercio global podría generar vulnerabilidades ante fluctuaciones del mercado y restricciones comerciales futuras.

3.2.6.4. Modelo BIO+ en el hito 2050: Reducción de la complejidad del sistema, eliminación de capturas en aguas internacionales y eliminación de importaciones

El modelo BIO+ para 2050 refleja una transformación estructural del sistema alimentario basado en productos del mar. La disponibilidad bruta total se reduce a 0,55 millones de toneladas, lo que supone una caída del 80% en comparación con el modelo BAU 2050, principalmente debido a la eliminación de las importaciones y la fuerte reducción de las capturas en caladeros no comunitarios. Este cambio implica una reestructuración sustancial del sistema pesquero, donde la biomasa disponible proviene únicamente de la producción nacio-

nal y las capturas en aguas nacionales y comunitarias, eliminando la dependencia del comercio internacional.

En este escenario, la acuicultura de bivalvos (principalmente mejillón) se convierte en el principal pilar del sistema, con 0,28 millones de toneladas (51% del total de la disponibilidad bruta), asegurando el abastecimiento interno sin recurrir a importaciones. Esta consolidación de la acuicultura como fuente principal de biomasa implica una mayor estabilidad en la producción, reduciendo la presión sobre los ecosistemas marinos y evitando la variabilidad de las capturas pesqueras.

Las capturas en el caladero nacional adquieren un papel mucho más relevante, alcanzando 0,23 millones de toneladas (41% del total de la biomasa disponible), lo que supone un incremento en su peso relativo dentro del sistema. En este caladero, el cerco es la modalidad predominante, con 170.649 toneladas (76%), lo que refuerza su importancia en el abastecimiento pesquero nacional. Las artes menores también ganan protagonismo, con 42.274 toneladas (19%), consolidándose como una alternativa sostenible y de menos impacto en comparación con los métodos industriales de captura.

En el caladero comunitario, la disponibilidad bruta se reduce a 34.041 toneladas (6% del total), destacando el uso de artes fijas (20.168 toneladas, 59%) y el cerco (9.934 toneladas, 29%) como principales métodos de pesca. En contraste con el BAU, donde los arrastreros y el palangre de fondo tienen un peso significativo, en BIO+ se observa una clara transición hacia métodos de pesca de menor impacto ambiental.

Las capturas en caladeros no comunitarios prácticamente desaparecen, reduciéndose a 11.280 toneladas (2% del total de biomasa disponible), lo que supone una caída del 97% respecto a BAU 2050. Esta drástica reducción refleja el abandono de la pesca industrial en aguas internacionales, eliminando la presión sobre recursos en terceros países y reduciendo los impactos ambientales y sociales asociados a la sobreexplotación de estos caladeros.

La eliminación de importaciones en BIO+ implica una reducción significativa de las externalidades del sistema pesquero español, disminuyendo los impactos en países terceros al no depender de sus recursos. Asimismo, este modelo supone una simplificación del sistema alimentario, reduciendo la variedad de productos disponibles pero asegurando una mayor sostenibilidad y menor impacto ambiental. A diferencia del modelo BAU, en el que las importaciones representaban el 66% de la disponibilidad bruta en 2050, en BIO+ la totalidad de la biomasa proviene de producción y capturas locales, favoreciendo un modelo de autosuficiencia y proximidad.

En definitiva, el modelo BIO+ 2050 representa un cambio estructural del sistema pesquero español, orientado a la producción nacional y la reducción del impacto ambiental. Aunque la disponibilidad bruta total es significativamente menor, se apuesta por un sistema más sostenible, con una fuerte reducción en la complejidad de los flujos de biomasa, menor presión sobre los ecosistemas y una disminución de la dependencia del comercio global.

3.2.7. Destino de la disponibilidad bruta en los modelos BAU y BIO+: diferencias en consumo, exportaciones, industria y piensos

El análisis de la disponibilidad bruta de productos del mar en los modelos BAU y BIO+ revela cambios profundos en la distribución de la biomasa entre consumo, exportación, industria de transformación y de piensos. Mientras que el modelo BAU mantiene una estructura altamente globalizada, con una fuerte dependencia del comercio exterior y un procesamiento industrial significativo, el modelo BIO+ reconfigura el sistema, eliminando progresivamente las importaciones y reduciendo las exportaciones, lo que refuerza la autosuficiencia y simplifica los flujos de biomasa.

En el escenario BAU 2030, el consumo sigue siendo el principal destino de la biomasa, con 1,07 millones de toneladas (figura 20). Sin embargo, el 72% de esta cantidad proviene de importaciones, con 0,44 millones de toneladas de países extracomunitarios (41%) y 0,34 millones de toneladas de la UE (31%), lo que evidencia la alta dependencia del comercio exterior. En cambio, la acuicultura nacional aporta 121.043 toneladas (11%), y las capturas en caladeros nacionales alcanzan 126.870 toneladas (12%).

En el modelo BIO+ en 2030, la estructura del consumo cambia drásticamente, reduciéndose a 0,64 millones de toneladas (-40% respecto a BAU). La disminución de las importaciones es la principal causa de esta reducción, con una caída del 53% en el volumen de producto importado. Como resultado, la acuicultura y las capturas nacionales ganan relevancia en el abastecimiento del consumo interno. Para 2050, en el supuesto de BAU, el consumo decrece ligeramente, hasta 1,05 millones de toneladas (-2% respecto a 2030), mientras que en BIO+ el descenso es aún mayor, situándose el producto destinado directamente al consumo en 0,31 millones de toneladas, con un 89% de ellas provenientes del ámbito nacional (0,28 millones), consolidando así un modelo basado en la producción nacional.

Las exportaciones aumentan lenta y progresivamente en el BAU, con 0,69 millones de toneladas en 2030 y 0,70 millones en 2050, representando alrededor del 24 al 25% de la disponibilidad bruta total. Este modelo sigue apostando por el comercio internacional, con una elevada proporción de reexportaciones de productos importados. En contraste, en BIO+ para el hito de 2030, las exportaciones se desploman a 0,33 millones de toneladas (-53% respecto a BAU), debido a la prioridad otorgada al mercado interno. Para 2050, las exportaciones en BIO+ prácticamente desaparecen, con apenas 2.042 toneladas, reflejando el cierre casi total del comercio exterior en este modelo.

El sector industrial también presenta diferencias marcadas. En 2030 en el modelo BAU, la industria absorbe 1 millón de toneladas de biomasa, destacando el producto procedente de las importaciones (0,37 millones de toneladas) y las capturas en caladero internacional (0,42 millones de toneladas), que muchas veces llegan congeladas a las costas españolas. La acuicultura también representa un aporte im-

portante de 0,15 millones de toneladas. Sin embargo, en BIO+, la biomasa destinada a la industria se reduce en un 28%, alcanzando 0,72 millones de toneladas, debido a la reducción de las importaciones y a la reorientación del sistema hacia el consumo directo. Para 2050, en BAU, la industria se mantiene con 0,98 millones de toneladas, mientras que en BIO+, el descenso es aún mayor, con solo 0,29 millones (en su mayoría provenientes del ámbito nacional), consolidando un modelo más simplificado y con menor procesamiento. Cabe destacar que toda la biomasa que sale del sector industrial vuelve a redistribuirse entre consumo, exportación y piensos, como puede observarse en las figuras de los sankey.

Por último, el destino de biomasa para piensos se mantiene relativamente estable en BAU, con 88.873 toneladas en 2030 y 92.162 toneladas en 2050. En cambio, en BIO+, este componente desaparece completamente, reflejando una transformación profunda en la gestión de la biomasa y en la eliminación de externalidades ligadas a la producción de piensos.

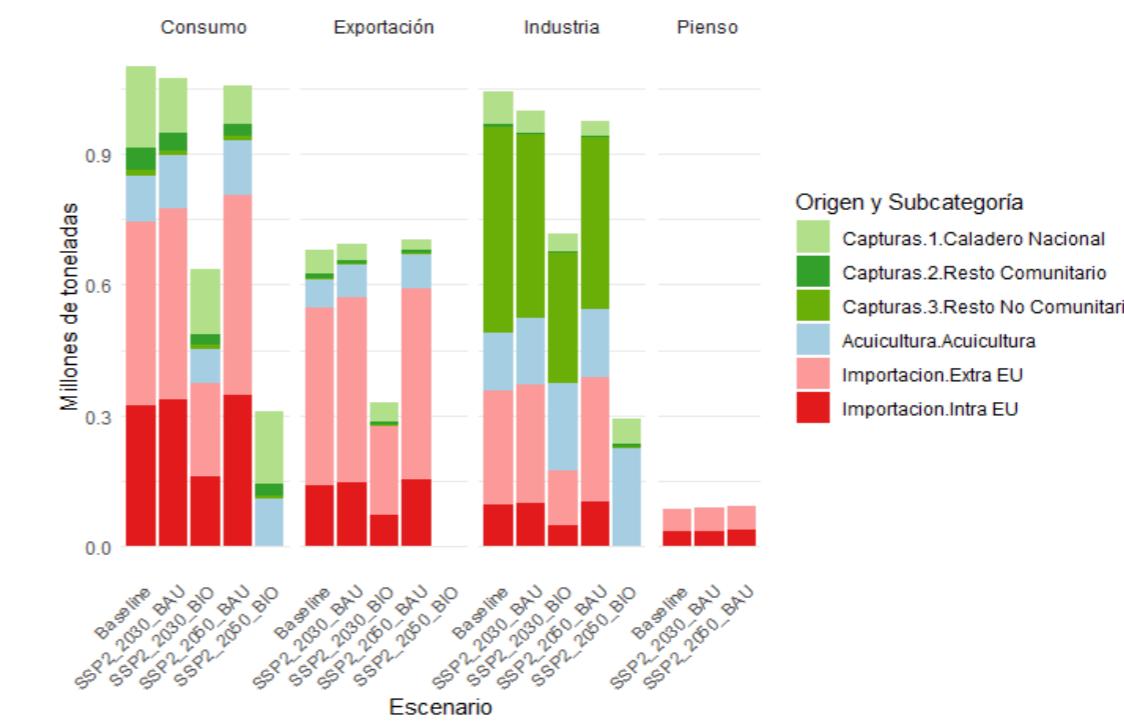


Figura 20
Destino de la disponibilidad bruta en los modelos BAU y BIO+.

3.2.7.1. Distribución del producto transformado y sin transformar en los modelos BAU y BIO+

El análisis de la disponibilidad bruta en los modelos BAU y BIO+ muestra diferencias estructurales en la distribución de la biomasa entre producto sin transformación y procesado, así como en sus respectivos destinos, por lo que se ha estudiado la distribución del producto disponible ya transformado (saliente de industria) y sin transformación. Mientras que el modelo BAU mantiene un sistema basado en el comercio internacional, con una parte considerable del producto transformado destinado a la exportación y a piensos, el modelo BIO+ elimina gran parte de estos flujos, priorizando el consumo interno y reduciendo drásticamente la transformación industrial. Esto implica una menor dependencia del comercio exterior, una reducción de la huella ambiental y una mayor resiliencia del sistema alimentario, aunque con una oferta más limitada de productos del mar.

3.2.7.2. El consumo como destino prioritario en BIO+

En el escenario BAU 2030, el consumo de productos del mar asciende a 1,51 millones de toneladas, de las cuales 1,1 millones de toneladas (72%) corresponden a productos sin transformación (figura 21). Dentro de este producto sin transformación, las importaciones suponen un 72%, ya que la mayoría de los productos importados se destinan al consumo y no se dirigen a la industria nacional, al contrario que los productos nacionales, que muchas veces se procesan previamente, en ocasiones con una pérdida de biomasa asociada. En cuanto al consumo de productos procesados (0,43 millones de toneladas), prácticamente la mitad (48%) tiene origen en las importaciones, mientras que la otra mitad (44%) proviene del caladero internacional, dejando poco protagonismo al producto nacional.

En el modelo BIO+ en 2030, el volumen total destinado al consumo se reduce un 38% hasta 0,94 millones de toneladas, debido a la reducción de las importaciones y los artes de pesca industriales. No obstante, el porcentaje de producto procesado que se destina a consumo aumenta en este modelo (32%), reflejando un cambio en la estructura productiva. En 2050, el consumo en BAU se reduce ligeramente hasta 1,48 millones de toneladas, mientras que en BIO+ desciende hasta 0,41 millones, consolidando la transición hacia una mayor autosuficiencia con una menor dependencia del comercio global.

3.2.7.3. Las exportaciones en BAU y su reducción en BIO+

El modelo BAU 2030 mantiene una estructura orientada a la exportación, con 1,11 millones de toneladas de biomasa enviadas al comercio exterior, de las cuales el 62% es producto sin transformar. La exportación de productos procesados en BAU representa una parte considerable del mercado (38%), con 249.524 toneladas provenientes del caladero internacional, el origen mayoritario.

En el modelo BIO+, las exportaciones se reducen considerablemente a 0,61 millones de toneladas en 2030 (-45% respecto a BAU), reflejando una estrategia de abastecimiento interno. En 2050, esta tendencia se acentúa aún más, con solo 26.389 toneladas exportadas, lo que supondría una reducción sustancial del comercio exterior en el supuesto de BIO+.

3.2.7.4. Transformación industrial: estabilidad en BAU y reducción drástica en BIO+

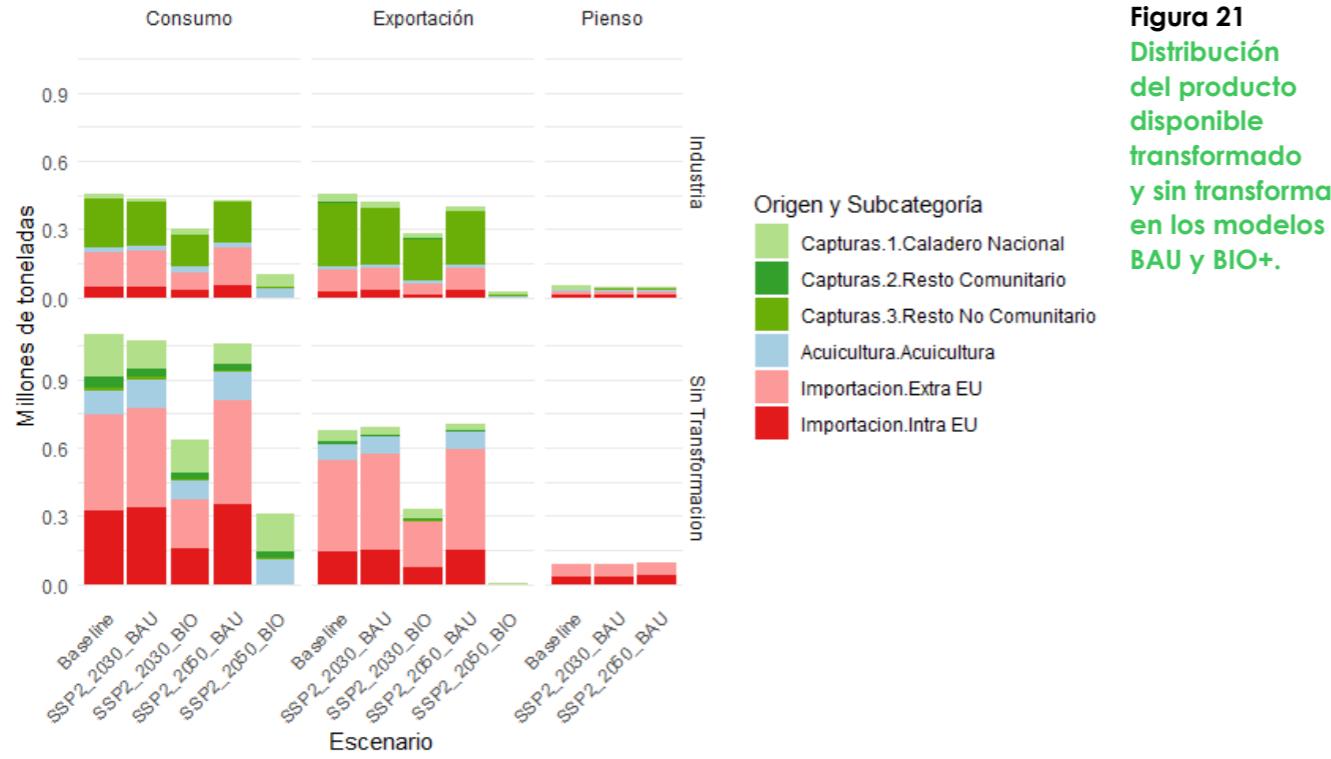
En BAU en 2030, la industria en su conjunto produce 0,90 millones de toneladas de biomasa, de las cuales las capturas en caladero internacional suponen prácticamente la mitad (0,44 millones de toneladas). La importación ocupa el segundo mayor volumen con 0,36 millones de toneladas producidas. El producto acuícola procesado asciende hasta 42.197 toneladas, evidenciando el cambio de biomasa respecto a la materia prima aportada (0,15 millones de toneladas), mientras que las capturas en caladeros nacionales suman 47.516 toneladas. En BIO+, el producto procesado en industria se reduce un 36% hasta 0,58 millones de toneladas. Esto es consecuencia directa de la reducción de importaciones y del menor peso del comercio exterior, que reduce la necesidad de transformación industrial para la exportación.

Para 2050, la industria en BAU sigue manteniendo un papel destacado con 0,87 millones de toneladas de biomasa procesada, mientras que en BIO+, el descenso es aún mayor, con solo 0,13 millones de toneladas, consolidando una producción más simplificada.

3.2.7.5. Eliminación de la biomasa destinada a piensos en BIO+

En el modelo BAU, una parte del producto procesado se destina a piensos, con 47.010 toneladas en 2030 y 44.684 toneladas en 2050. Este flujo se mantiene relativamente estable y sigue dependiendo en gran medida de importaciones.

En BIO+, la biomasa destinada a piensos desaparece completamente, indicando un cambio en la gestión del recurso y en la orientación del sistema hacia el consumo humano y la reducción de desperdicios.



3.2.8. Cambios en la estructura productiva de la flota

Situación actual de la flota en número de barcos

La flota española está compuesta por 8.960 barcos, de los cuales el 89% opera en caladeros nacionales (7.980 barcos), el 6% en caladeros no comunitarios (515 barcos) y el 5% en caladeros comunitarios (465 barcos) (figura 22).

En términos absolutos, el arte de pesca con mayor número de embarcaciones de la flota española es el de artes menores, con 6.975 unidades, lo que supone el 78% del total. En el caladero nacional, las artes menores dominan con diferencia, con 6.816 unidades, representando el 85% del total en este caladero.

El segundo arte en importancia dentro de toda la flota es el arrastre (incluyendo los arrastreros congeladores), con 918 unidades (10% del total), seguido del cerco, con 553 barcos (6%). En el otro extremo, las modalidades con menor presencia son el rasco, con 22 barcos, los atuneros cerqueros congeladores, con 27, y los atuneros cañeros, con 52 embarcaciones, que en conjunto suponen algo más del 1% de la flota.

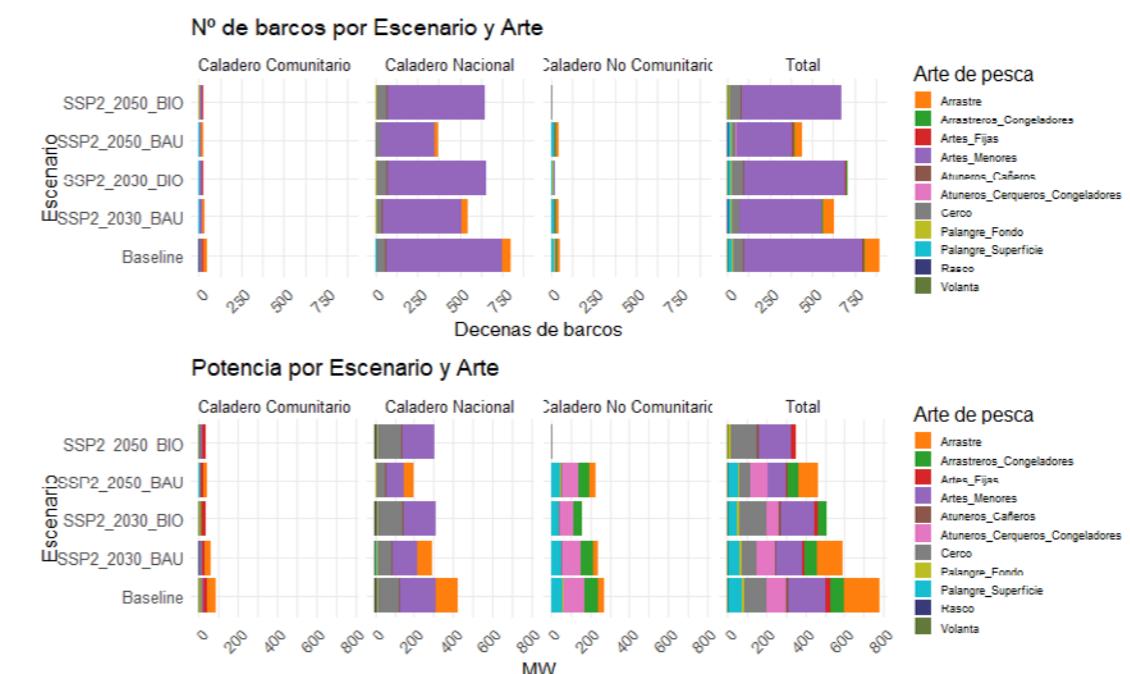
En el caladero comunitario, el arte de pesca más utilizado es el arrastre, con 187 barcos (40% del total), seguido por las artes menores, con 134 barcos (29%). El caladero no comunitario muestra una mayor presencia de la flota dedicada al palangre de superficie, con 174 barcos, seguido del arrastre, con 152 unidades, lo que supone el 34% y el 30% de la flota en este caladero, respectivamente.

Situación actual de la flota en potencia de la flota

La flota española tiene una potencia total de 778 MW, distribuida principalmente en el caladero nacional, que concentra el 54% del total (422 MW). El caladero no comunitario representa el 35% (271 MW), mientras que el caladero comunitario acumula el 11% restante (85 MW).

En términos absolutos, el arrastre es el arte de pesca con mayor potencia instalada, con 183 MW, lo que representa el 24% del total. En segundo lugar se encuentran los artes menores, que, a pesar de ser el segmento más numeroso en términos de embarcaciones, suman 189 MW, lo que supone otro 24% del total. La tercera modalidad con mayor potencia es el cerco, con 113 MW (15%). En el otro extremo, las artes de menor potencia son el rasco, con solo 3 MW, y la volanta, con 6 MW.

En el caladero comunitario, el arte de mayor potencia es el arrastre, con 41 MW, seguido de las artes fijas, con 24 MW, que juntas concentran el 76% de la potencia de este caladero. En el caladero nacional, los artes menores son el segmento con mayor potencia instalada, con 185 MW, lo que supone el 44% de la potencia en este caladero, seguidos del arrastre, con 109 MW (26%). En el caladero no comunitario, la mayor parte de la potencia se concentra en los atuneros cerqueros congeladores, con 102 MW (38%), seguido de los arrastreros congeladores, con 68 MW (25%), y el palangre de superficie, con 57 MW (21% de este caladero).



3.2.9. Evolución en el escenario BAU: reducción del número de barcos y la potencia, pero se mantiene la dependencia de caladeros no comunitarios

3.2.9.1. Hito 2030

Para el año 2030, el número total de barcos en la flota española se reduce a 6.272 unidades, lo que supone una disminución del 30% respecto a la situación actual (figura 22). Esta reducción es más pronunciada en los caladeros nacionales y comunitarios, mientras que el caladero no comunitario experimenta una caída más moderada. Así, el caladero nacional sigue siendo el más afectado, con una reducción del 31%, pasando de 7.980 barcos en la actualidad a 5.475 en 2030. En términos de uso de artes de pesca, los artes menores siguen dominando con 4.676 barcos, pero han sufrido una reducción del 31% respecto a los 6.816 actuales. También destaca la disminución del arrastre, que pasa de 500 a 343 barcos (-31%), y del cerco, que se reduce de 494 a 339 unidades (-31%).

El caladero comunitario también experimenta un descenso significativo, con una reducción del 27% en el número de barcos, pasando de 465 a 338. El arrastre sigue siendo el arte predominante con 136 unidades (-27%), mientras que las artes menores se reducen a 97 barcos (-28%). La caída en cerco (-28%) y palangre de fondo (-27%) sigue la misma tendencia general.

Por otro lado, el caladero no comunitario muestra una mayor estabilidad, con una reducción del 11%, pasando de 515 a 459 barcos. Aquí, el palangre de superficie sigue siendo el arte más representado, con 155 barcos en 2030, frente a los 174 actuales (-11%). El arrastre también disminuye ligeramente, de 152 a 135 barcos (-11%).

En términos de potencia, la flota española experimenta una reducción del 24% en 2030 dentro del escenario BAU, pasando de 777 MW en la actualidad a 592 MW. Esta disminución es más acusada en el caladero nacional, donde la potencia se reduce un 31%, de 422 MW a 289 MW. En el caladero comunitario la reducción es ligeramente menor, con una disminución del 27% hasta los 62 MW, mientras que en el caladero no comunitario la reducción es del 11%, pasando de 271 MW a 241 MW.

El arrastre sigue siendo el arte de pesca con mayor potencia instalada en 2030, con 134 MW, aunque ha sufrido una caída del 27% respecto a los 183 MW actuales. Los artes menores también experimentan una reducción significativa, pasando de 189 MW a 130 MW (-31%). La tercera modalidad con mayor potencia, el cerco, disminuye un 30%, pasando de 113 MW a 79 MW.

Por caladeros, en el comunitario la mayor parte de la potencia sigue concentrada en el arrastre, con 30 MW, y en las artes fijas, con 17 MW, que juntas representan el 76% de la potencia en este caladero. En el caladero nacional, los artes menores siguen siendo el segmento con mayor potencia instalada, con 127 MW, lo que supone el 44% de

la potencia en este caladero, seguidos del arrastre, con 75 MW (26%). En el caladero no comunitario, la mayor parte de la potencia sigue concentrándose en los atuneros cerqueros congeladores, con 91 MW (38%), seguido de los arrastreros congeladores, con 61 MW (25%), y el palangre de superficie, con 51 MW (21% de este caladero).

La estructura de la flota en el escenario BAU para 2030 mantiene su dependencia de caladeros no comunitarios, ya que es el que sufre la menor reducción en número de embarcaciones, manteniendo una mayor estabilidad en términos de potencia instalada. En términos generales, la flota muestra una reducción generalizada en la potencia pesquera, con especial impacto en los caladeros nacionales y comunitarios. Además, los artes menores continúan siendo el segmento mayoritario de la flota, pero con un peso menor que en la actualidad.

3.2.9.2. Hito 2050

Para 2050, la flota española en el escenario BAU sigue reduciéndose de manera significativa, alcanzando un total de 4.405 barcos, lo que supone una disminución del 51% respecto a la situación actual (figura 22). Esta reducción afecta principalmente a los caladeros nacionales y comunitarios, mientras que el caladero no comunitario mantiene una mayor estabilidad relativa.

El caladero nacional es el que experimenta la mayor disminución, con una reducción del 53%, pasando de 7.980 barcos en la actualidad a 3.743 en 2050. A pesar de la caída, los artes menores siguen siendo el arte más representado en este caladero, con 3.197 barcos, aunque han perdido un 53% de su flota respecto a los 6.816 actuales. El arrastre también disminuye drásticamente, pasando de 500 a 235 barcos (-53%), al igual que el cerco, que se reduce de 494 a 232 unidades (-53%).

El caladero comunitario también se contrae significativamente, con una reducción del 50% en el número de barcos, pasando de 465 a 232. El arrastre sigue siendo el arte predominante con 93 unidades (-50%), mientras que las artes menores se reducen a 67 barcos (-50%). Otras modalidades como el cerco (-50%) y el palangre de fondo (-48%) siguen la misma tendencia descendente.

El caladero no comunitario, aunque sufre una reducción del 17%, sigue siendo el más estable, pasando de 515 a 430 barcos. El palangre de superficie sigue siendo el arte más representado en este caladero, con 145 barcos en 2050 frente a los 174 actuales (-17%). El arrastre también disminuye moderadamente, de 152 a 127 barcos (-16%).

En términos de potencia, la flota española en 2050 reduce su capacidad pesquera un 40% respecto a la actualidad, pasando de 777 MW a 466 MW. La mayor reducción se observa en el caladero nacional, que pierde el 53% de su potencia instalada, pasando de 422 MW a 198 MW. En el caladero comunitario, la reducción alcanza el 50%, con una caída hasta los 42 MW, mientras que en el caladero no comunitario la potencia se reduce en un 17%, situándose en 226 MW.

El arrastre sigue siendo el arte de pesca con mayor potencia instalada en 2050, con 99 MW, aunque ha sufrido una caída del 46%

respecto a los 183 MW actuales. Los artes menores también experimentan una reducción significativa, pasando de 189 MW a 89 MW (-53%). La tercera modalidad con mayor potencia, el cerco, disminuye un 51%, pasando de 113 MW a 55 MW.

En el caladero comunitario la mayor parte de la potencia sigue concentrada en el arrastre, con 20 MW, y en las artes fijas, con 12 MW, que juntas representan el 76% de la potencia en este caladero. En el caladero nacional, los artes menores siguen siendo el segmento con mayor potencia instalada, con 87 MW, lo que supone el 44% de la potencia en este caladero, seguidos del arrastre, con 51 MW (26%). En el caladero no comunitario, la mayor parte de la potencia sigue concentrándose en el palangre de superficie, con 48 MW (21% de este caladero), seguido de los arrastreros congeladores, con 57 MW (25%), y los atuneros cerqueros congeladores, con 86 MW (38%).

En general, la estructura de la flota en el escenario BAU para 2050 sigue mostrando una fuerte contracción en los caladeros comunitarios y nacionales, con una dependencia todavía notable de los caladeros no comunitarios. La pérdida de potencia en estos caladeros es menos severa, lo que indica una reestructuración de la flota hacia buques de mayor potencia faenando fuera del territorio español.

3.2.10. Evolución en el escenario BIO+: Menor reducción de la flota con foco en caladeros nacionales y relocalización de la actividad pesquera.

3.2.10.1. Hito 2030

En 2030, la flota española en el escenario BIO+ se reduce un 21% respecto a la situación actual, alcanzando un total de 7.069 barcos, una caída menos pronunciada que en el escenario BAU, donde la reducción es del 30% (6.272 barcos) (figura 22). Esta diferencia se debe a una menor disminución de la flota en los caladeros nacionales, que en BIO+ pierden solo un 18% de sus unidades, mientras que en BAU la reducción es del 31%. En cambio, los caladeros comunitarios y no comunitarios experimentan reducciones más marcadas en BIO+ (-47% y -49%, respectivamente) en comparación con BAU (-27% y -11%).

En términos absolutos, el caladero nacional mantiene 6.561 barcos en 2030 en BIO+, frente a los 5.475 de BAU, reflejando una estrategia de relocalización de la actividad. Los artes menores continúan dominando este caladero con 5.816 unidades, aunque experimentan una reducción del 15% respecto a la actualidad, una caída mucho menor que en BAU (-31%). En el caladero comunitario, la flota se reduce a 246 barcos (-47% respecto a la actualidad), con el arrastre y las artes menores como principales segmentos. En el caladero no comunitario, el número de barcos cae un 49%, con una reducción significativa en el palangre de superficie, que pasa de 174 a 114 barcos (-34%), un descenso más pronunciado que en BAU (-11%). Este

descenso también se da en el resto de artes de pesca industriales, pasando los arrastreros y cerqueros congeladores de 78 y 26 barcos respectivamente en la situación actual a 51 y 17 barcos en BIO+, representando un descenso del 35% en ambos artes.

En términos de potencia, la flota en BIO+ en 2030 alcanzará los 510 MW, lo que representa una reducción del 34% respecto a la actualidad, un porcentaje mayor que en el BAU (-24%). En este escenario, la reducción de la potencia en el caladero nacional es más moderada (-26%) en comparación con BAU (-31%), reflejando una apuesta por mantener una actividad pesquera sostenible en aguas nacionales. En cambio, en el caladero comunitario, la potencia pesquera cae un 55%, alcanzando solo 38 MW, mientras que en el caladero no comunitario la disminución también es acusada (-42%), situándose en 158 MW.

Los artes menores, a pesar de ser el segmento más numeroso en BIO+, reducen su potencia en un 11%, mientras que en BAU la caída es del 31%. El arrastre, en cambio, pierde un 27% de su potencia en BAU y es eliminado completamente en el escenario BIO+. En el caladero no comunitario, el palangre de superficie desciende a una potencia de 37 MW, lo que supone un descenso del 35% respecto a la actualidad, una reducción más pronunciada que en el BAU (-11%).

En conjunto, BIO+ en 2030 refleja una menor reducción de la flota en términos de unidades, pero un descenso más acusado de la potencia empleada en comparación con BAU, con un foco en la relocalización de la actividad hacia caladeros nacionales, mientras que la disminución en los caladeros comunitarios y no comunitarios (donde operan los barcos más potentes) es más pronunciada.

3.2.10.2. Hito 2050

Para 2050, la flota española en BIO+ sigue una trayectoria de reducción más moderada en comparación con BAU. La flota total se sitúa en 6.770 barcos, lo que supone un descenso del 24% respecto a la actualidad, frente a la reducción del 51% que se observa en BAU (4.405 barcos) (figura 22). Este mantenimiento de unidades se debe a la apuesta por los caladeros nacionales, donde la reducción es del 19%, con 6.456 barcos operativos, mientras que en BAU la caída es del 53%, con solo 3.743 barcos en 2050.

El caladero comunitario pierde el 49% de su flota en BIO+, pasando de 465 a 236 barcos, mientras que en BAU la reducción es más acusada (-50%, hasta 232 barcos). Por otro lado, la flota en el caladero no comunitario cae drásticamente en BIO+, con una disminución del 85%, reduciéndose de 515 barcos a solo 78 en 2050. En BAU, esta reducción es mucho menor (-17%), reflejando que en BIO+ se prioriza la actividad en caladeros nacionales.

En cuanto a la potencia pesquera, la reducción es aún más marcada en BIO+, con una caída del 55% respecto a la actualidad, situándose en 350 MW en 2050, mientras que en BAU la potencia total es de 467 MW (-40%). Esta diferencia se explica por una disminución más agresiva en los caladeros no comunitarios, donde la potencia se

reduce en un 97% en BIO+, alcanzando solo 9 MW, frente al 17% de reducción en BAU (226 MW). En contraste, el caladero nacional mantiene una mayor proporción de su potencia, con 306 MW en 2050, lo que supone una reducción del 27%, menor que en BAU (-53%).

El arte de pesca arrastre desaparece, mientras que en BAU la reducción es del 55%. Los artes menores mantienen una mayor estabilidad, con 167 MW en BIO+ en 2050 (-12%), mientras que en BAU la caída es más acusada (-53%). En el caladero comunitario, la potencia sigue cayendo hasta los 35 MW (-59% respecto a la actualidad), reflejando el menor interés en la actividad en estas aguas.

En general, el escenario BIO+ en 2050 muestra una clara apuesta por la relocalización de la flota en caladeros nacionales. Aunque el número total de barcos es mayor en BIO+ que en BAU, la potencia instalada es menor debido a la reducción del número de barcos en los caladeros de terceros países. La flota española en 2050 en BIO+ es más reducida pero también más localizada y sostenible, con una menor dependencia de caladeros lejanos y una mayor concentración en las aguas nacionales.

3.3. La dieta en los escenarios planteados

3.3.1. Los cambios en la alimentación disponible

3.3.1.1. Energía

Teniendo en consideración que todas las cadenas de valor presentan pérdidas evitables y no evitables en su estructura, que condicionan el abastecimiento alimentario a la población, podemos observar cómo, en la actualidad, el 69% del contenido energético de la alimentación finalmente es ingerida (3.306 kcal), mientras que el 26% compone la fracción desperdiaciada y el 5% restante supone la fracción no comestible (1.276 y 234 kcal respectivamente) (figura 23). Como puede observarse, el funcionamiento actual de las cadenas presenta casi 1/3 de su volumen desperdiciado, un factor fundamental sobre el que potencialmente incidir para reducir el desperdicio alimentario.

Tanto este reparto como la cantidad total se replica en el modelo BAU para ambos hitos temporales, donde solo el 69% de las 4.816 kcal provistas por las cadenas de valor sirven para finalmente ser ingeridas por la población.

Del otro lado, el modelo BIO+ arroja mejoras en lo que se refiere a la reducción del desperdicio. De un lado, la fracción ingerida pasa a representar el 71% de la energía total para 2030 y el 81% para 2050,

lo que suponen 3.190 y 2.801 kcal respectivamente. Esto se produce gracias a reducir la fracción que representa desperdicio, pasando desde el 27% actual al 24% en 2030 y al 14% en 2050. Esto supone un descenso del 15% del desperdicio en términos calóricos para 2030 y un 62% del desperdicio para 2050 con respecto a la actualidad.

3.3.1.2. Materia fresca disponible para la alimentación humana

De la misma manera, el modelo BIO+ y el modelo BAU muestran cambios en lo que se refiere a materia fresca consumida. Así, en la actualidad se observa que solo se consume el 66% del alimento disponible (1.844 g/cap.día), mientras que el 25% supone desperdicio y el 9% la fracción no comestible (692 y 263 g/cap.día cada uno). Las asunciones del modelo BAU implican que dicho reparto y volumen no se modifica en ningún hito temporal, lo que hace que, tanto en el modelo BAU como en la actualidad, un cuarto de lo disponible es desperdiciado. Para el modelo BIO+ se produce un ahorro en la fracción desperdiaciada, que pasa a representar el 23% (609 g/día) en 2030, y el 14% en 2050 (316 g/cap.día), lo que permite que el 75% de la cantidad disponible sea destinado directamente a la ingesta para este hito temporal (1.731 g/cap.día). Esto supone un descenso del 54% del desperdicio para el año 2050 respecto a la actualidad.

3.3.1.3. Proteínas

En el caso de la proteína, el 22% de la ingesta supone la fracción desperdiaciada en la actualidad (31 g/cap.día), mientras que el 68% es la fracción comestible (99 g/cap.día). El cambio del modelo BIO+ reduciendo el desperdicio permite incrementar la fracción comestible hasta el 81% de su disponibilidad, lo que implica 75 g/cap.día, mientras que el desperdicio pasa a representar el 15% de la fracción comestible (11 g/cap.día) para 2050. Esto implica una reducción del 18% para 2030 y de un 64% para 2050 en lo que se refiere a desperdicio.

3.3.1.4. Lípidos

Expresado en gramos de lípidos per cápita, el desperdicio para la situación actual asciende al 27% de la ingesta lipídica total, lo que significa 54 g/cap.día, valor que se rebaja en el modelo BIO+ un 19% para 2030 y un 71% para 2050 (44 y 16 g/cap.día respectivamente). Esto implica que el desperdicio lipídico pasa de representar el 27% en el escenario actual y el modelo BAU, al 13% para el año 2050 en el modelo BIO+, mientras que la fracción comestible pasa de ser el 71% en la actualidad al 85% en el modelo BIO+ para 2050.

3.3.1.5. Carbohidratos

El 68% de los carbohidratos disponibles en forma de alimentos supone la fracción finalmente ingerida en la actualidad (329 g/cap.día), mientras que el 28% suponen desperdicios (138 g/cap.día). Este reparto se mantiene constante para el modelo BAU, mientras que en el modelo BIO+ se observan descensos del 11% para 2030 y del 53% para 2050 en lo que se refiere a la cantidad de desperdicios (123 y 65 g/cap.día respectivamente para los hitos temporales). Esto implica que la fracción desperdiada en 2030 se ha reducido al 26% con respecto a los carbohidratos disponibles, mientras que en 2050 el desperdicio constituye el 15% de la disponibilidad de las dietas. Esto permite que la fracción consumida finalmente sea el 70% de los carbohidratos disponibles en 2030, y para 2050 esta fracción suponga el 81%.

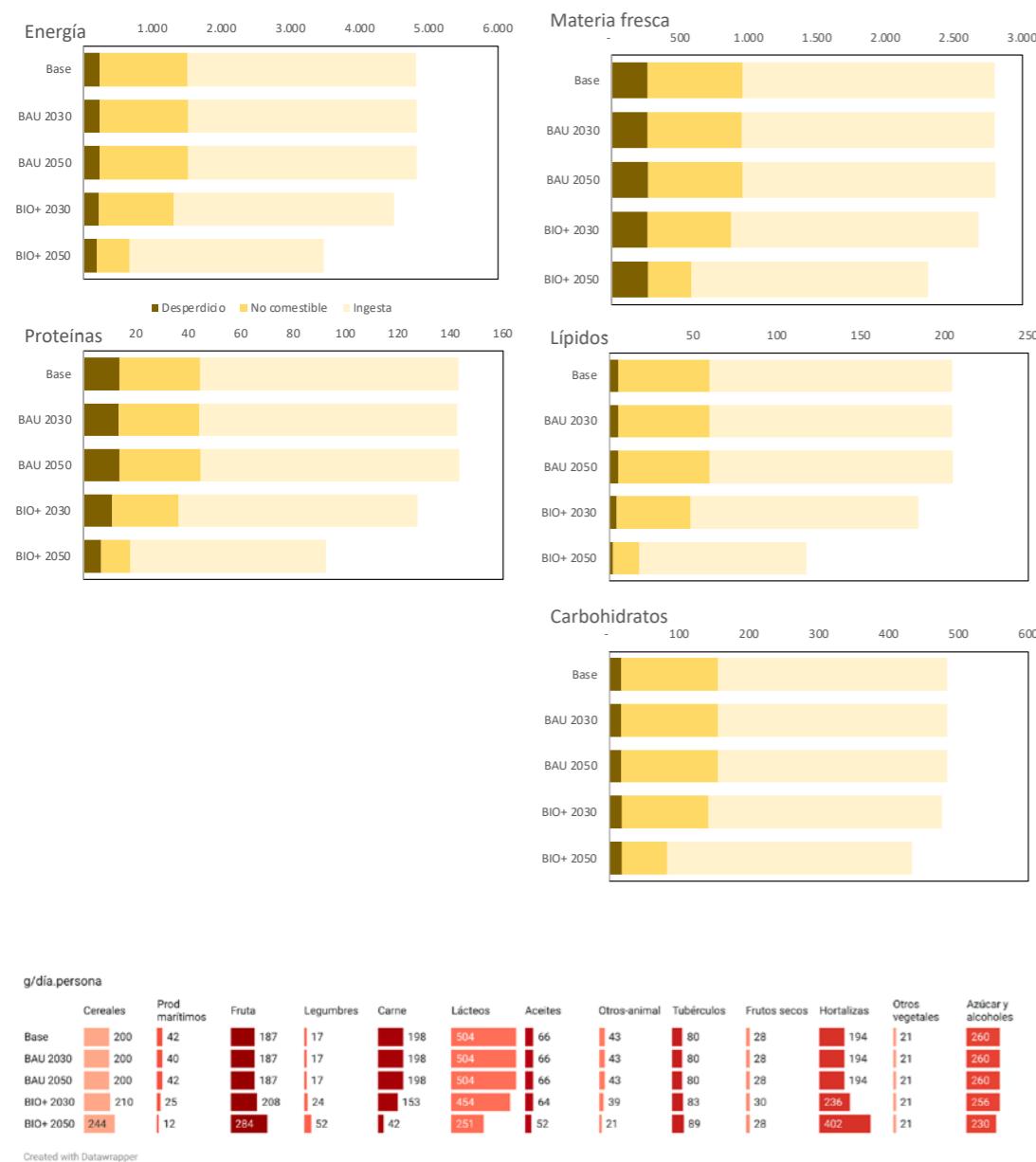


Figura 23
Cantidad ingerida en los distintos hitos temporales y modelos de transición, contabilizando la parte ingerida (ingesta), la parte no comestible y el desperdicio, medida en energía, materia fresca, y macronutrientes principales.

3.3.2. Consumo alimentario

Las asunciones inferidas en los modelos implican cambios en las dietas que pueden cubrirse en comparación con la actualidad. De un lado, cabe señalar que el modelo BAU arroja valores similares en cuanto a la dieta si se compara con la actualidad, precisamente por verse derivado de la asunción del propio modelo el mantener la dieta como la actual.

Atendiendo a las variaciones de la dieta, se observa que en el modelo BIO+, los cereales presentes en la dieta se incrementan, pasando del consumo actual (200 g/persona.día) a 210.3 g/persona.día en 2030 y 244 g/persona.día en 2050, lo que supone un incremento del 5% y 22% respectivamente (figura 24, tabla 3). La oferta de cereales típicos de la dieta mediterránea como el trigo o la cebada presentan incrementos del 23%, derivado de los manejos agroecológicos, de las dinámicas de mejora de los agroecosistemas y de los cambios en el flujo comercial con el extranjero.

En el caso del pescado, se observa un descenso abrupto del 40% para el modelo BIO+, principalmente por el paulatino descenso de las artes más intensivas (arrastre) y de las importaciones de productos del mar, con drásticas caídas en la ingesta de los peces de agua dulce (i.e. trucha) (100%), crustáceos (i.e. cangrejo o gambas) (99%) o cefalópodos (ie. calamar) (97%).

	BAU		BIO		
	Baseline	2030	2050	2030	2050
Cereales	200.0	200.0	200.0	210.3	244.0
Prod. marítimos	41.6	40.2	41.9	24.8	12.0
Fruta	186.9	187.0	186.8	208.0	283.7
Legumbres	17.4	17.4	17.4	24.3	52.2
Carne	197.5	197.5	197.5	153.2	41.8
Lácteos	503.9	503.9	503.9	453.5	250.5
Aceites	66.1	66.1	66.1	63.9	52.5
Otros-animal	43.5	43.5	43.5	38.9	21.5
Tubérculos	79.8	79.8	79.8	83.0	88.6
Frutos secos	27.6	27.6	27.6	30.4	28.3
Hortalizas	193.8	193.8	193.7	236.1	402.1
Otros vegetales	21.1	21.1	21.1	21.1	21.3
Azúcar y alcohol	259.9	259.9	259.9	255.6	230.5

Tabla 3
Cantidad ingerida por la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales 2030 y 2050.

Figura 24
Distribución de los productos ingeridos en los distintos hitos temporales y modelos de transición.

El abastecimiento de frutas aumentará un 11% para 2030 y un 52% para 2050. Las principales frutas que se podrían abastecer en el modelo BIO+ son cítricos como naranjas (60 g/persona.día), melocotón (50 g/persona.día) o mandarinas (36 g/persona.día) para 2050, lo que implica un incremento en el abastecimiento del 60%, 120% y 56% respectivamente con respecto a la actualidad. La subida inicial en 2030 seguido de una suavizada caída que siempre supera el valor del consumo actual, indica la capacidad del modelo de amortiguar los efectos abruptos del cambio climático en el hito 2050.

Las legumbres son unos componentes claves en el cambio propuesto para la transición nutricional, ya que incrementan su consumo un 200% para el hito 2050. Para ello, el modelo BIO+ indica que los garbanzos, las judías y las lentejas sean componentes fundamentales dentro de las legumbres, incrementando su abastecimiento al triple (+200%) de la actualidad, lo que supone 22,2, 14,7 y 15,4 g/día respectivamente. Este potencial de abastecimiento sólo sería viable si se asumen cambios en la relocalización de la producción e incorporación de las leguminosas en prácticas de rotación y asociación en los paisajes productivos de los agroecosistemas, con numerosos beneficios como, en este caso, una mejora en la aportación de fibra y proteínas hortalizas a la dieta.

La ingesta de carne presenta una situación contraria: el modelo BIO+ prevé un descenso del 22% para 2030 y del 79% para 2050, principalmente a expensas de la reducción de ternera (78% de descenso) y pollo (76%). Esto implica que para 2050, se estima un consumo medio de productos cárnicos de 300 g a la semana por parte de la población española, aunque con una diferencia en la composición de la oferta de carne. Así, si consideramos la recomendación del tamaño de la ración de la AESAN (125 g), la recuperación y potenciación de las razas ibéricas de porcino permiten una ración de cada 5 días, mientras que para el caso de la ternera sería cada 20 días. Para el pollo sería cada 12 días.

Para los lácteos, el descenso en el modelo BIO+ es del 10% para 2030 y del 50% para 2050, con bajadas más importantes en la leche de vaca (54% menos en 2050) mientras que apenas hay cambios en la leche asociada a caprino y ovino (<1% de reducción para 2050). Este resultado se asocia principalmente a la incorporación de la ganadería extensiva como parte de los agroecosistemas, donde la ganadería caprina y ovina presentan grandes potencialidades.

En el caso del consumo de aceites, se prevé un descenso del 23%, con cambios relevantes en los tipos de aceite de los que se trata. Así, mientras que se eliminarían totalmente aceites como el de coco, palma, cacahuete, o soja, los aceites hortalizas como el de girasol descienden un 60%. El gran protagonista de la dieta mediterránea, el aceite de oliva virgen extra, incrementaría un 100% su consumo, mejorando de este modo el perfil lipídico de la dieta debido a la mayor ingesta de grasas monoinsaturadas. Con estos cambios en la tipología de aceites se apreciaría además una disminución de grasas saturadas y por ello, un potencial efecto beneficioso para la salud derivado del protagonismo del aceite de oliva virgen extra en la dieta.

Dentro de la categoría “Otros animales” se encuentran productos como el huevo o las grasas animales, donde el consumo se reduce un 10% en 2030 y un 50% para 2050. En lo que se refiere al consumo de huevos, el descenso es del 70% con respecto a la actualidad para 2050, mientras que las grasas animales descienden un 30% para ese mismo hito temporal.

Para el azúcar y el alcohol, situado en la misma categoría, el modelo BIO+ arroja una disminución del 2% para 2030 y del 20% para 2050. En particular, para el azúcar el descenso es del 10% para 2030 y del 50% para 2050.

Las hortalizas son parte de una dieta saludable y como tal, las asunciones del modelo BIO+ apuestan por incrementar su consumo. Así, para el hito 2030 se estima un incremento del 22% en el consumo de verduras, mientras que para 2050 este incremento llega al 100%, duplicando su consumo. Productos ampliamente consumidos como el tomate o la lechuga duplican su consumo, y en el caso del pimiento llegan a un 23% adicional.

El papel de los alimentos de origen animal en las dietas debe considerarse cuidadosamente en cada contexto y dentro de las realidades locales y regionales.

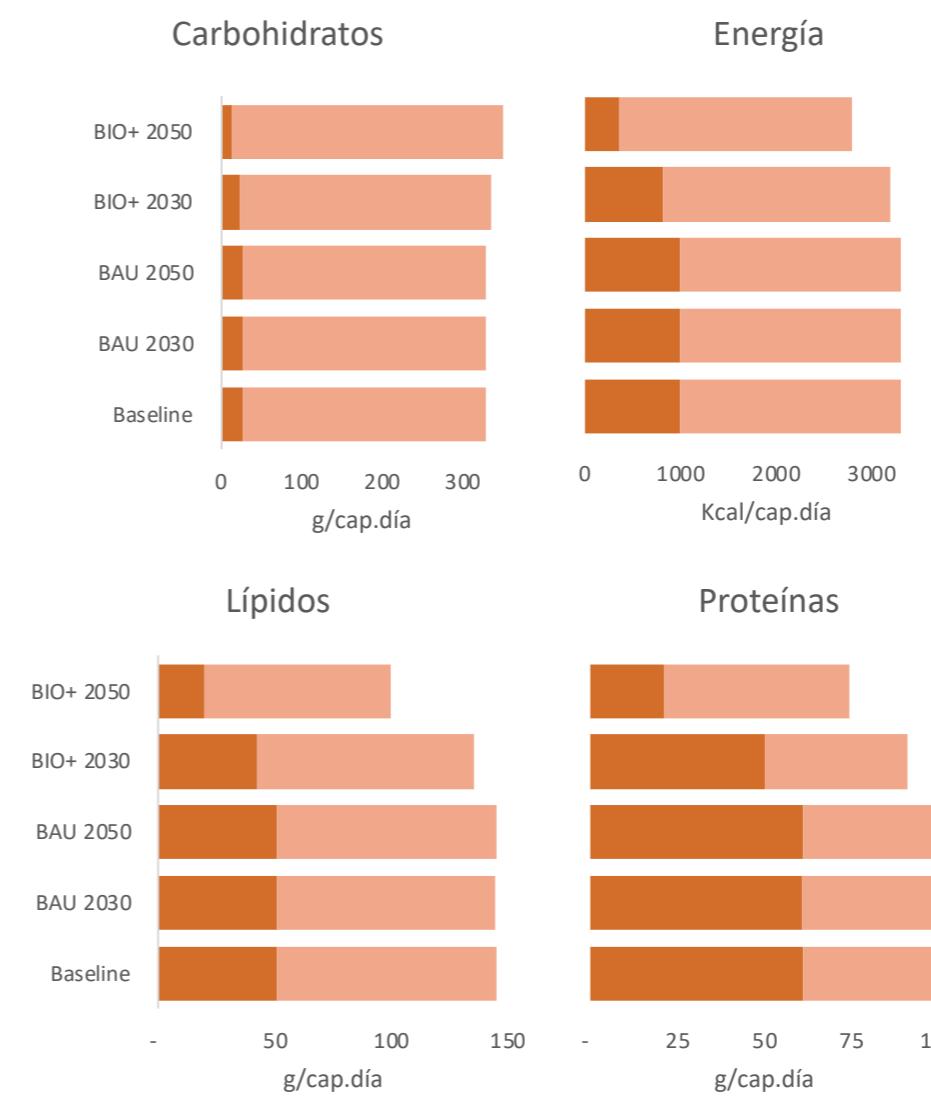


Figura 25
Macronutrientes y energía que componen las dietas en los distintos escenarios climáticos y modelos de transición, en función de si se trata de productos de origen animal o vegetal, expresado en unidades por persona y día.

Carbohidratos (g/cap.día)

	Cereales	Prod marítimos	Fruta	Legumbres	Carne	Lácteos	Aceites	Otros-animal	Tubérculos	Frutos secos	Hortalizas	Otros vegetales	Azúcar y alcoholes
Base	161	0	22	9	0	25	0	2	14	3	8	2	84
BAU 2030	161	0	22	9	0	25	0	2	14	3	8	2	84
BAU 2050	161	0	22	9	0	25	0	2	14	3	8	2	84
BIO+ 2030	169	0	24	13	0	22	0	2	15	4	9	2	76
BIO+ 2050	196	0	30	29	0	12	0	2	16	4	16	2	44

Lípidos (g/cap.día)

	Cereales	Prod marítimos	Fruta	Legumbres	Carne	Lácteos	Aceites	Otros-animal	Tubérculos	Frutos secos	Hortalizas	Otros vegetales	Azúcar y alcoholes
Base	2	1	1	1	22	21	71	6	0	11	0	8	0
BAU 2030	2	1	1	1	22	21	71	6	0	11	0	8	0
BAU 2050	2	1	1	1	22	21	71	6	0	11	0	8	0
BIO+ 2030	3	0	1	1	17	20	69	5	0	12	0	8	0
BIO+ 2050	3	0	1	2	5	11	55	3	0	11	1	8	0

Proteína (g/cap.día)

	Cereales	Prod marítimos	Fruta	Legumbres	Carne	Lácteos	Aceites	Otros-animal	Tubérculos	Frutos secos	Hortalizas	Otros vegetales	Azúcar y alcoholes
Base	23	7	1	4	28	22	0	5	2	4	2	2	0
BAU 2030	23	6	1	4	28	22	0	5	2	4	2	2	0
BAU 2050	23	7	1	4	28	22	0	5	2	4	2	2	0
BIO+ 2030	24	4	1	5	21	20	0	5	2	5	3	2	0
BIO+ 2050	28	2	2	11	6	11	0	3	2	4	5	2	0

Energía (Kcal/cap.día)

	Cereales	Prod marítimos	Fruta	Legumbres	Carne	Lácteos	Aceites	Otros-animal	Tubérculos	Frutos secos	Hortalizas	Otros vegetales	Azúcar y alcoholes
Base	726	33	118	65	504	399	662	55	71	118	66	83	407
BAU 2030	726	31	118	65	507	398	662	55	71	117	66	83	407
BAU 2050	726	33	118	65	507	398	662	55	71	118	66	83	407
BIO+ 2030	763	19	131	91	387	372	640	43	74	130	79	84	377
BIO+ 2050	886	9	174	108	207	506	506	39	79	120	130	92	254

La aportación de productos hortalizas al total de carbohidratos en la actualidad es prácticamente el mismo que en cualquiera de los dos modelos (92%) (figura 26). En el caso de la energía, los productos animales aportan en la actualidad el 30% de la energía, valor que desciende al 13% en el 2050 para el modelo de transición BIO+, por lo tanto, se observa una mayor aportación de productos vegetales a las calorías consumidas.

En las dietas BIO+ se contempla un descenso del total de lípidos, descendiendo un 30% con respecto a la actualidad, lo que implican valores de 145 g de lípidos al día en la actualidad y 100 g de lípidos en 2050 para el modelo BIO+. Asimismo, es destacable que la fuente de dichos lípidos cambia, pasando de una contribución del 35% de lípidos de origen animal en la actualidad, a 20% en el modelo BIO+ para 2050. Este descenso de las grasas animales, junto con el protagonismo de AOVE entre las grasas hortalizas, supone importantes mejoras para la salud.

En lo que respecta a las proteínas, el aumento de proteínas vegetales junto con el descenso de las animales que se observa en el modelo BIO+ van en consonancia con las recomendaciones dietéticas saludables y sostenibles y con el patrón de dieta mediterránea (AESAN, 2022, Willett et al., 2019). Esto es así porque los alimentos proteicos vegetales tienen la ventaja de no aportar grasas saturadas ni colesterol y de ser una fuente de fibra, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos, además de grasas insaturadas.

Figura 26
Macronutrientes y energía que componen las dietas en los distintos escenarios climáticos y modelos de transición, según la aportación de cada grupo de alimentos, expresado en unidades por persona y día. En la figura superior se diferencia por si es de origen vegetal o animal y en la parte inferior según el grupo de alimentos.

3.3.3. Energía consumida

Kcal/día	Baseline	BAU		BIO	
		2030	2050	2030	2050
Cereales	726	726	726	763	886
Prod. marítimos	33	31	33	19	9
Fruta	118	118	118	131	174
Legumbres	65	65	65	91	195
Carne	504	507	507	387	108
Lácteos	399	398	398	372	207
Aceites	662	662	662	640	508
Otros-animal	55	55	55	43	39
Tubérculos	71	71	71	74	79
Frutos secos	118	117	118	130	120
Hortalizas	66	66	66	79	130
Otros vegetales	83	83	83	84	92
Azúcar y alcoholes	407	407	407	377	254
TOTAL	3306	3307	3309	3190	2801

Como puede observarse en la tabla 4, la ingesta calórica total diaria resulta excesiva en la Baseline y en el modelo BAU (2030 y 2050), superando en más del 30% la ingesta de referencia 2500 kcal/día (Willet et al., 2019). El consumo de 2500 kcal al día corresponde a las necesidades energéticas medias de un hombre de 70 kg y 30 años de edad y una mujer de 60 kg y 30 años cuyo nivel de actividad física oscila entre moderado y alto.

La previsión es que en el modelo BIO se produzca una disminución de la ingesta calórica, aproximándose al requerimiento especificado. Ello sería resultado de un consumo alimentario más acorde a las recomendaciones saludables y sostenibles para cada grupo de alimentos.

Tabla 4
Energía suministrada a la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales.

3.3.4. Distancia comparativa con respecto al consumo saludable

Rcr	Baseline	BAU		BIO	
		2030	2050	2030	2050
Cereales	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Prod. marítimos	1.7	1.6	1.7	1.0	0.5
Fruta	0.9	0.9	0.9	1.0	1.4
Legumbres	0.3	0.3	0.3	0.5	1.0
Carne	4.6	4.6	4.6	3.6	1.0
Lácteos	2.0	2.0	2.0	1.8	1.0
Aceites	1.7	1.7	1.7	1.6	1.3
Otros-animal*	2.2	2.2	2.2	2.0	0.6
Tubérculos	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2
Frutos secos	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1
Hortalizas	0.6	0.6	0.6	0.8	1.3

Los ratios de raciones consumidas con respecto a las recomendaciones (Rcr) es un indicador del alejamiento de la dieta con respecto a lo que se recomienda consumir según la dieta de referencia EAT Lancet.

Por un lado, se observa en la tabla 5 que, en el pescado, el consumo actual excede en un 70% las recomendaciones de la dieta EAT Lancet. Por el contrario, el consumo previsto en el modelo BIO 2030 se ajusta a lo recomendado en EAT Lancet Diet, con una Rcr de 1.0. El hecho de que en el hito 2030 se hayan alcanzado parcialmente alguna de las asunciones que afectan de manera importante a los sistemas pesqueros, hace que parte de la dieta, en lo que a pesca se refiere, sea aún abastecida con artes de pesca intensivas (arrastre, etc), de importaciones y/o de capturas en aguas no comunitarias. En este sentido, como se vió en el apartado de las cadenas alimentarias de productos del mar, gracias a este flujo es posible sostener el consumo actual y en el hito 2030. Sin embargo, en el hito 2050, donde el conjunto de asunciones se implementa totalmente, la dependencia en exclusiva del caladero nacional y a partir de artes de pesca menos intensivas en esfuerzo pesquero no es capaz de cubrir las recomendaciones nutricionales, quedando en la mitad de lo que se recomienda ($Rcr=0.5$). Este elemento resulta fundamental para entender dos factores. El primero, que las recomendaciones nutricionales globales, como la EAT Lancet, no tienen en consideración las capacidades de carga y extracción regionales a la hora de generar recomendaciones, puesto que se basan en estándares globales. En este sentido, lo que puede aplicarse a una región puede carecer de sentido en otra.

Tabla 5
Ratio de cumplimiento de las recomendaciones (Rcr) con respecto a las recomendaciones de la Planetary Diet suministrada a la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales 2030 y 2050.

* Para la categoría "Other animal" solo se ha seleccionado "huevos" por ser la que contempla recomendaciones específicas en la dieta EAT Lancet.

No obstante, las recomendaciones de EAT Lancet establecen que el consumo puede ser nulo en lo que a pescado se refiere, pero históricamente el pescado ha sido un producto fundamental de la dieta en el estado. El segundo factor importante consiste en reconocer lo que otros documentos previos vienen haciendo: la extenuación de los caladeros nacionales imposibilita, a día de hoy, abastecer productos procedentes de la pesca por el mal estado en el que se encuentran. Este segundo elemento será retomado en la discusión de este informe.

En lo que se refiere a carnes y lácteos, el consumo en la actualidad implica 4,6 y 2 veces la ingesta de estos alimentos recomendados, lo que implica una dieta excesivamente proteica y alta en grasas saturadas de origen animal con el perjuicio para la salud que ello supone. Para el caso de los modelos de transición, mientras que el modelo BAU arroja la misma ratio, en el caso del modelo BIO+ este consumo se reduce paulatinamente hasta las recomendaciones diarias, con un ratio 1 para 2050 en ambas categorías.

En la actualidad observamos que el uso de aceites en las dietas resulta excesivo (1,7) no solamente por el aceite de oliva, sino por el gran consumo de aceite de girasol (19,9 g/día), palma (19,2 g/día) o soja (5,5 g/día) directa o indirectamente como ingrediente en otros alimentos. Así, la transición hacia las recomendaciones diarias sugieren un descenso del valor de la Rcr para la categoría "aceites", transformando este tipo de aceites menos saludables hacia el aceite de oliva. Esto implica que para 2050 el consumo de aceite de oliva se prevé en 43,7 g/día, eliminando la presencia de aceite de palma y soja, y reduciendo a 7,4 g/día el consumo de aceite de girasol.

La categoría otros productos animales se refiere a grasas y huevos, por lo que se ha optado por evaluar este último puesto que las grasas no tienen recomendación específica. En este sentido, el consumo actual de huevo supone una ratio de 2,2, es decir, superior a la recomendación saludable. La transición en el modelo BIO+ prevé una caída del consumo del doble de lo recomendado para 2030, mientras que en el 2050 se alcanza un valor de 0.6. Este valor demuestra un valor inferior en la ratio con respecto a lo que se recomienda, como consecuencia del conjunto de asunciones de los modelos empleados. A pesar de que se ha priorizado el uso de cereales con destino animal hacia dicha cabaña, que es altamente dependiente de granos, no es capaz de cubrir las recomendaciones de la dieta saludable de referencia. No obstante, tanto este hecho, como el del déficit de consumo de productos del mar, son elementos que se discutirán con posterioridad al analizar la dieta de la población española en su conjunto.

El consumo de verduras y frutas es deficitario en la actualidad, con una ratio de 0.6 y 0.9 respectivamente, mientras que para el modelo BIO+ las cadenas alimentaria son capaces de abastecer un consumo superior a las recomendaciones, con unos potenciales beneficios a la salud asociado a ello (1.3 y 1.4 para verduras y frutas respectivamente).

3.3.5. Perfiles energéticos

Gramos	Baseline	BAU		BIO	
		2030	2050	2030	2050
Carbohidratos	0	329.	329.0	328.9	335. 4
Proteína	98.6	98.3		98.6 91.3	74.5
Lípidos	144.8	144.7		144.9 135.6	99.8

Tabla 6
Macronutrientes aportados a la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales 2030 y 2050.

% kcal	Baseline	BAU		BIO	
		2030	2050	2030	2050
Carbohidratos	44%	44%	44%	46%	54%
Proteínas	13%	13%	13%	12%	11%
Lípidos	43%	43%	43%	42%	35%

En cuanto a la ingesta de proteínas, partimos de un consumo excesivo en la actualidad, ya que la ingesta recomendada de proteínas para adultos es de hasta 0.8 g/kg peso corporal, lo que supone 56 g/día para una persona de 70 kg con actividad física intermedia (Willet et al., 2019) (tabla 6). Esto supone que, en la actualidad, si tomamos a un individuo tipo de estas características, el consumo de proteína se sitúa en un 76% por encima de las recomendaciones. Ante la variabilidad de personas y perfiles metabólicos existentes en los hitos temporales a futuro, el modelo BIO+ para 2050, aunque disminuye la ingesta de proteínas, suponen 74,5 g/día, ligeramente por encima de la recomendación, aunque se consideraría equilibrado en la medida en la que se ajusta al 10-15% de aporte calórico a la dieta procedente de las proteínas.

Es habitual analizar el perfil calórico de las dietas desde el punto de vista nutricional (tabla 7). Ello supone calcular, del total de la energía ingerida, qué porcentaje procede de cada macronutriente. Tal y como se observa, en la actualidad los carbohidratos aportan el 44% de la energía aportada por los macronutrientes a la población española. Willet et al. (2019) consideran en EAT Lancet Diet menos del 60% como perfil calórico de hidratos de carbono, por lo que en la dieta actual estaríamos dentro de dicho rango. No obstante, cabe destacar que la proporción recomendada de hidratos de carbono en la dieta dependerá tanto de la actividad física que realice el individuo como que deben proceder mayoritariamente del consumo de grano entero. En cuanto a las proteínas, la recomendación de aportación al perfil energético se encuentra en el rango 10-15%, por lo que se cumple en todos los escenarios y modelos analizados. Por último, en cuanto a lípidos, podríamos considerar los valores de referencia de

perfil calórico para la población española debido al consumo tradicional y diario de aceite de oliva. Según la FESNAD (2015), el consumo de lípidos puede suponer hasta el 40% de las calorías totales, siempre que entre el 20 y 25% provengan de grasas monoinsaturadas, debiendo ser la fuente principal aceite de oliva virgen. Sin embargo, lo que observamos en la actualidad es que, del total de lípidos aportados a la dieta, el aceite de oliva representa el 28% de las calorías aportadas a la dieta, por lo que 2/3 de las calorías proceden de aceites refinados (palma y girasol principalmente). Del otro lado, en el modelo BIO+, las contribuciones de los tipos de aceites cambian, con un 80% de la energía lipídica procedente del aceite de oliva.

Tabla 7
Aportación a las Kcal en función de los macronutrientes aportados a la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales 2030 y 2050.

4. INDICADORES

4.1. Contaminantes en alimentos

El sistema de gestión de la seguridad alimentaria (entendida como inocuidad de los alimentos) en España, como estado miembro de la Unión Europea, depende de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN), organismo vinculado con la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), que actúa como coordinadora de las actividades nacionales en la Unión Europea. El Plan Nacional de Control Oficial de la Cadena Alimentaria contiene información sobre el control que en ciertos ámbitos y para determinados riesgos se han establecidos a nivel comunitario con criterios armonizados de aplicación por todos los Estados miembros. Los aspectos son muy variados y cubren desde que sustancias y sus residuos se han de investigar en los alimentos hasta la frecuencia y tipo de muestreo. Dentro de este Plan destacan acciones particulares como el Plan nacional de investigación de residuos incluidos los plaguicidas.

Primero, los datos que arrojan los informes reportados sobre residuos de plaguicidas por las autoridades sanitarias autonómicas y estatales hacia la EFSA de los últimos años, señalan un mantenimiento con cierto incremento del porcentaje de muestras con uno o más residuos, pero dentro de los límites legales. Asimismo, reflejan efectivamente un menor número de muestras con infracciones, pero también se observa que el número de muestras recogidas para estos análisis ha caído estrepitosamente, pasando de las 2.711 en 2018 a 1.743 muestras para el 2022.

La justificación asociada a establecer el número de muestras reportada al organismo europeo (EFSA) indican que se deriva basándose en tres aspectos: la frecuencia de identificación en sustancias activas en años previos, las alertas del Sistema Rápido de Alternativas para Alimentos y Piensos (RASFF en inglés), y la lista de productos prohibidos de la Regulación Europea (2021/601). Además, los valores reportados a esta autoridad no incluyen valores de la producción primaria, solamente aquellos consumibles.

Se echa de menos un análisis estadístico que respalde la garantía del mantenimiento de los criterios de seguridad disminuyendo el número de muestras, ya que, según la propia EFSA, este valor debe ser estimado considerando número de habitantes como factor fundamental de la evaluación del riesgo, y la población entre el 2018 y la actualidad ha aumentado paulatinamente desde los 46,6 millones de personas a 48,1 en el último censo, y a pesar de ello, España se si-

túa en los niveles más bajos entre los países de la UE en el número de muestras analizadas por 100.000 habitantes.

Este hecho resulta aún más impactante si se observa la Encuesta de Comercialización de Productos Fitosanitarios (INE) y la Encuesta de Utilización de Productos Fitosanitarios (INE). Si bien la primera encuesta arroja un estancamiento en la venta, la segunda muestra un incremento en la aplicación por hectárea de productos (MAPA, 2024b). Estos dos factores, a priori contradictorios, se entienden mejor si consideramos los cambios en la superficie de usos del suelo agrícola. En los últimos años identificamos dos modelos divergentes: el modelo de intensificación agrícola, asociado a la irrigación en enclaves agrícolas, muy centrado en innovaciones tecnológicas y altamente requiriente de recursos e insumos químicos, y el modelo de semiabandono agrícola, propio de enclaves despoblados, con fincas cada vez más grandes destinadas a los cultivos menos rentables, barbechos blancos, pastos y secanos (publicación en proceso).

Mientras que el primero se encuentra efectivamente en expansión en algunas localizaciones, el segundo modelo, que manifiesta el proceso de semi-abandono agrario, presenta una magnitud mayor en términos de extensión. Así, mientras en los censos se recoge un ligero incremento en la superficie agraria en términos totales, si que se identifica un descenso en la superficie cultivada si solo consideramos la superficie de cultivos (cropland), propio del proceso de desagrarianización que ocurre en España. De esta manera, el razonamiento de los factores indicados anteriormente nos invita a pensar que efectivamente se está incrementando el uso de fitosanitarios por hectárea, como indica la encuesta de usos, en zonas cada vez más concentradas donde ocurre el modelo productivo intensivo, mientras que las zonas que no nos susceptibles de ser intensificadas se abocan al proceso de semi-abandono. Aunque esto requiere de un análisis en detalle, desde luego arroja dudas sobre el por qué del descenso en el número de muestras tomadas.

A todo ello hay que añadir una de las problemáticas manifiestas en la lentitud legislativa a la hora de establecer límites de residuos en alimentos y en la retirada del mercado de productos cuya toxicidad no los hace aconsejables, en gran medida impulsado por el lobby de la industria química (Horel, 2015). De esta manera, Nicolás Olea indica que las medidas legislativas deberían estar orientadas a la protección de la salud de las personas (Olea, 2021), citando los ejemplos del endosulfán o el clorpirifós, cuyos procesos de demora desde que se identificaron sus efectos perniciosos para la salud hasta que la propia Unión Europea obligó a su prohibición y retirada del mercado, ha llevado más de 20 años. Aunque se han agilizado los procesos legislativos basados en conocimiento científico, la lentitud a la hora de procesar evidencias científicas se hace patente. La organización Pesticide Action Network Europe (PAN) presentó una lista de entre 53 y 162 sustancias aún utilizadas y que resultan activas en su capacidad de disruptora endocrina dependiendo del criterio utilizado para definir dicha disruptión, y que aún no han sido legisladas adecuadamente

por la no consideración de su efecto tóxico hormonal como criterio de restricción, prohibición y retirada del mercado alimentario.

En esta línea, la medición de residuos, además de escasa y poco restrictiva, se basa en los límites máximos de residuos (LMR) presentes en los alimentos ingeridos, límites que carecen de un enfoque sistémico por no contemplar el potencial efecto combinado entre distintos residuos químicos dañinos. Es llamativo ver que el propio informe español para su inclusión en el informe de la EFSA resalta la frecuencia de detección de más de un residuo en muchas de las muestras analizadas, sin que se tenga en consideración el posible efecto aditivo, sinérgico o antagónico que ese cóctel pudiera tener sobre la salud de los ciudadanos consumidores.

La complejidad de la respuesta toxicológica que presentan habitualmente compuestos como los disruptores endocrinos, que varía cuando su exposición resulta crónica a bajas concentraciones, por no decir el efecto combinado sumatorio con propiedades emergentes aún poco estudiadas, pone en entredicho el sistema establecido para la evaluación del riesgo de estos plaguicidas. Además, gran parte de los compuestos analizados en laboratorios presentan curvas dosis respuesta no monotónicas, es decir, que cambian la pendiente de la curva que relaciona la cantidad de dosis y la respuesta en el cuerpo, por lo que se restringe la definición de no segura cuando hay dosis donde no se observa una respuesta experimental.

La presencia de múltiples residuos, aun dentro de los límites legales impuestos por el establecimiento de un LMR, tiene también sus consecuencias visibles en los estudios de biomonitorización humana (BMH). Por ejemplo, un estudio publicado en 2023 muestra que, de los 5 países estudiados, España presenta el mayor número de co-apariciones en orina del grupo de estudio de plaguicidas, o lo que es lo mismo, en la muestra poblacional analizada (incluidos niños y adultos), en este país se dan de mediana 7 co-ocurrencias (Ottenbros et al., 2023).

Por todo ello, cualquier tipo de inferencia basándose en las cifras que arrojan las muestras tomadas en alimentos por las autoridades sanitarias dicen poco o nada de la exposición humana a tóxicos, y por lo tanto, es necesario reconocer que, ante la inexistencia de datos veraces, hay que ceñirse a estudios que han recogido sistemáticamente la biomonitorización humana (BMH o HBM en inglés). Existen en Europa dos grandes estudios internacionales que han tratado de describir tanto la exposición y comparación poblacional a tóxicos, como las principales fuentes de exposición y el efecto que tienen las medidas implementadas para reducir dicha exposición. Estos son los estudios HBM4EU² y EU-PARC³.

El primer elemento fundamental que remarcan es que, para la población general, la exposición a plaguicidas ocurre principalmente a través de los alimentos, reduciendo, por ejemplo, su excreta en orina tras tan poco como una semana de consumo de productos ecológicos (Bradman et al. 2015; Lu et al. 2006; Oates et al. 2014). De hecho, el consumo frecuente de productos ecológicos efectivamente se encuentra asociado a un descenso en la concentración de plaguicidas

² [Aquí](#)

³ [Aquí](#)

en la orina (Berman et al. 2016; Curl et al. 2015, González et al., 2023). En poblaciones infantiles, por el mayor ratio entre el peso del alimento y peso del individuo, se han detectado mayores exposiciones y, por tanto, mayor concentraciones en biofluidos(Szigeti, et al. 2021). De los productos alimentarios, frutas y verduras son la principal fuente de exposición a plaguicidas (e.g. Bradman et al. 2015, Oates et al. 2014), mientras que para los piretroides, principalmente insecticidas que actúan en el sistema nervioso central indiscriminadamente, también han sido detectados con procedencia desde productos marinos (Alonso et al, 2012, Corcellas et al., 2015) y otros productos de origen animal (EFSA, 2017; 2018).

El segundo factor de exposición es el referido como ocupacional o por vecindad, relacionado con la exposición por dedicación profesional a las actividades agrarias o por habitar en núcleos cercanos a las zonas de producción (Curwin et al., 2007; Connolly et al., 2018). El tercer factor de exposición, en particular que afecta a niños/as es el uso residencial de productos como líquidos de limpieza o productos insecticidas, con particular atención a la exposición derivada de mascotas tratadas con productos como el fipronil (Cochran et al. 2015).

El estudio HMB4EU ha estudiado con detenimiento el efecto de tres grupos de plaguicidas: los piretroideos, los organofosforados y el fipronil. Los piretroideos son neurotóxicos y, en algunos casos, disruptores endocrinos, que influyen en el neurodesarrollo y en el desarrollo reproductivo en los casos en los que se exponen en períodos de crecimiento de los/as niños/as. De hecho, su exposición ha sido relacionada con problemas cognitivos y fetales, trastornos de déficit de atención e hiperactividad (Dalsager et al., 2019; Wagner-Schuman et al., 2015), problemas de baja calidad del esperma (Saillenfait et al., 2015), leucemia infantil (Bailey et al., 2015).

Los organofosforados como el clorpirifós o el dimetoato son de los más conocidos en el mercado, y con mayor número de alertas por presencia en alimentos según la EFSA, a pesar de estar prohibido desde el año 2020. De hecho, los organofosforados son los más investigados por su relación con problemas reproductivos (Fucic et al., 2021). Son neurotóxicos que afectan al desarrollo cerebral y se ha demostrado en estudios que puede llegar a afectar al neurodesarrollo embrionario (Gonzalez-Alzaga et al., 2014; Ross et al., 2013). El caso del glifosato, uno de los más famosos, resulta controvertido por haber sido clasificado como cancerígeno por las autoridades estadounidenses (US-EPA), mientras que la autoridad europea (EFSA) decidió en 2017 no clasificarlo como tal (ECHA, 2017).

El fipronil es una de las sustancias con menos supervisión, aunque ha demostrado ser neurotóxico y disruptor endocrino en animales (Gupta y Milatovic, 2014), y por ello ha sido clasificado en Estados Unidos como “posible carcinógeno humano”, mientras que en la Unión Europea no identificó su genotoxicidad *in vitro* ni *in vivo* en el 2011, por lo que permanece sin clasificación.

Además, de los estudios de referencia utilizados en el proyecto HB-M4EU, varios de los cuales incorporan datos reportados por los grupos de investigación en España para su sistematización, los grupos españoles han publicado contribuciones demostrando la presencia en orina y sangre de adolescentes de distintos tipos de ftalatos, DIINCH (utilizado como sustituto de los ftalatos y con características de disruptión endocrina), benzofenonas, perfluorados y arsénico, así como cadmio e hidrocarburos aromáticos policíclicos en orina de adultos (Yusa et al., 2015). Por otro lado, Freire et al. (2021) indica que la presencia de piretroides y carbamatos, componentes habituales de los plaguicidas, guardan relación con niveles anómalos hormonales en adolescentes masculinos. Del mismo modo, en un estudio en hombres y mujeres adolescentes en España relacionando divergencias desarrolladas durante la pubertad y exposición a insecticidas, se detectó que el desarrollo mamario temprano en chicas y de retraso genital en chicos, tenía relación con la exposición a esa familia de insumos agrícolas (Castiello et al., 2023). Es de esperar que el Plan Nacional de Biomonitorización Humana, recientemente aprobado y de implementación inmediata a nivel de toda España, fortalezca la información sobre la exposición humana a contaminantes químicos vinculados a la cadena alimentaria y permita evaluar de forma correcta las medidas preventivas que se asuman en los próximos años en el campo de la seguridad alimentaria.

Target organ of the body	Effects	Relevant Substances	Adults (men)	Adults (women)	Infants / Foetuses
 Brain/neurological system	Disturbance of neurodevelopment e.g. cognitive deficits	Pyrethroids	○	○	●
		Chlorpyrifos, Dimethoate, Fipronil	○	○	●
		Glyphosate, PBO, POEA	○	○	●
 Blood system	Behavioural problems e.g. attention deficit hyperactive disorder	Pyrethroids, OPs	○	○	●
		Pyrethroids, Chlorpyrifos	○	○	●
 Endocrine system	Endocrine disrupting effects	Pyrethroids, PBO, OPs, Fipronil	●	●	●
		POEA	●	●	●
 Metabolism	Disturbances	Pyrethroids	●	●	●
 Immune system	Immunotoxic effects	Pyrethroids, OPs	●	●	●
 DNA	Reproductive toxicity	OPs	●	●	●
		Pyrethroids, PBO, Fipronil	●	●	●
	DNA damage	POEA, Chlorpyrifos	●	●	●
 Non-organ specific / whole body	Carcinogenic	Chlorpyrifos, Dimethoate, Fipronil	●	●	●
		PBO, Glyphosate, Pyrethroids	●	●	●

Key: ● Strong evidence ○ Suspected ● Evidence lacking ○ Not applicable

AKOEE - EURL Health Impacts, Pesticides, v5.indd 20

Por último, algunos estudios han venido recogiendo el nexo exposición-salud en relación con componentes habitualmente utilizados en la agricultura. Así, Mustieles et al. (2017) indican que la exposición regular e histórica a contaminantes orgánicos persistentes (POPs) está consistentemente relacionada con síndromes metabólicos. De los POPs, el más famoso resulta ser el DDT y los PCBs. De la misma manera, los POPs también se han demostrado relacionados con la presencia de mayor cantidad de radicales libres, con efecto patogénico hacia cáncer, atherosclerosis, diabetes, Parkinson y otras enfermedades (Reina Pérez et al., 2023)⁴.

Figura 27
Resumen del estudio HBM4EU. Extraído de Szigeti et al., 2021.

4.2. Biodiversidad

4.2.1. Biodiversidad existente

El Biodiversity Intactness Index (BII) es un índice que ofrece una medida cuantitativa robusta de la salud y la integridad de los ecosistemas, incorporando tanto los impactos directos de actividades humanas, como la urbanización o la agricultura, como los efectos indirectos derivados de la fragmentación, alteración de hábitats y cambio climático (De Palma et al., 2018; Hill et al., 2018). Así, proporciona una visión integral y precisa del estado de las especies y sus hábitats, a través de medir el porcentaje de especies originales que permanece en un área determinada, a pesar de los impactos humanos. Como ventaja frente a indicadores de biodiversidad, el BII tiene la capacidad de proyectar cómo cambiará en respuesta a decisiones de gestión futuras. Si tomamos en consideración la biodiversidad existente y le sustraemos el BII estimado, el resultado indica la biodiversidad en los distintos modelos de transición para cada hito temporal.

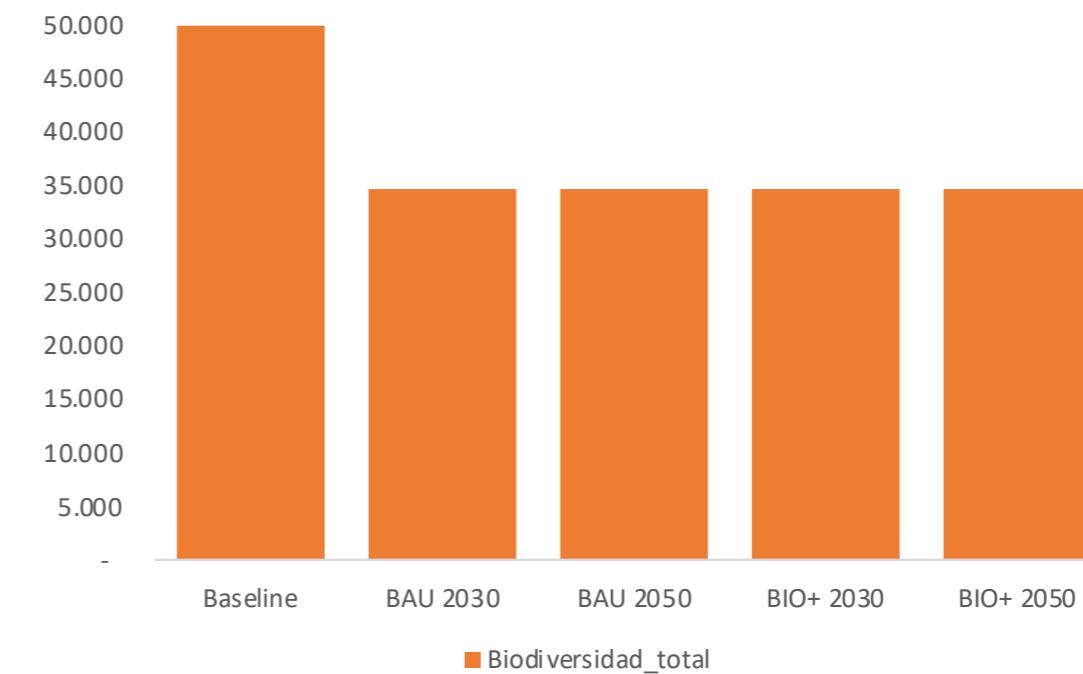


Figura 28
Número de especies existentes (biodiversidad total) en los distintos hitos temporales y modelos de transición, de manera comparada con la actualidad (baseline).

⁴Para más información sobre plaguicidas y las revisiones sistemáticas de dichos proyectos.

De esta manera, a pesar de que los modelos de transición planteados (BIO u BAU) presentan grandes modificaciones descritas en las asunciones, el índice no muestra grandes diferencias (figura 28). La biodiversidad existente en la actualidad asciende a 49.870 especies. Los distintos escenarios climáticos contemplados y los modelos de transición arrojan una caída del 30% en las especies existentes para el modelo BIO+, mientras que en el modelo BAU este valor es del 31%. Así, mientras que en el modelo BIO+ resulta en el descenso hasta 34.682 especies de media entre escenarios climáticos, en el modelo BAU este valor es de 34.656 especies.

4.2.2. Influencia de los efectos del cambio climático en las especies

Para que el análisis capture la variabilidad espacial (por provincia) y biológica (por grupo) de los efectos del cambio climático, se han aplicado estos efectos sobre una combinación única de grupo de especies, provincias, modelos de manejo y variables climáticas. Así, un valor de 1 implica que en ese grupo de especies, manejo y escenario específico, el cambio en la variable climática correspondiente (desastres, precipitación o temperatura) resulta en un incremento o decrecimiento de 1 unidad en la biodiversidad amenazada inicial. Cabe señalar que los dos grupos que presentan mayor relación entre el fenómeno climático en cuestión y su influencia sobre la población son los artrópodos y las plantas terrestres, mientras que el resto de grupos de especies presentan valores de relación $<\pm 0,01$ (figura 29).

4.2.2.1. Modelo BAU

Los artrópodos y las plantas terrestres son los grupos en los que se presenta una relación directa entre las variables que describen la desaparición de especies con los desastres causados por el cambio climático. Así, para 2030 se observa un factor de 0,23 en el modelo BAU para los tres escenarios climáticos. De la misma manera, las plantas terrestres, otro de los grupos donde más se manifiesta dicha influencia, presenta valores de 0,11 mientras que en el modelo BIO+ es de 0,04 para los tres escenarios climáticos.

En lo que se refiere a la influencia de los cambios asociados a la precipitación en los escenarios climáticos, se observan diferencias relevantes dependiendo del escenario y modelo de transición del que se trate. Mientras que para artrópodos en el modelo BAU para el escenario climático SSP1-RCP2.6 presenta valores negativos de -0,22, para el escenario SSP2-RCP4.5 y para el SSP5-RCP8.5 resultan positivos (0,19 y 0,01 respectivamente). En el caso de las plantas terrestres, el funcionamiento es similar, con valores negativos para el SSP1-RCP2.6 y positivos para SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5, siendo éstos -0,38, 0,32 y 0,02 respectivamente.

En lo que se refiere a la temperatura, los valores son $<\pm 0,01$ para todos los grupos de especies.

Sin embargo, el valor de esta magnitud adquiere relevancia cuando se trata del hito 2050, precisamente por la mayor influencia de los efectos asociados al cambio climático en la modificación de los grupos de especies.

El grupo de artrópodos adquiere un valor de 0,50 para el 2050 en todos los escenarios climáticos cuando se trata de la influencia de los desastres, mostrándose más vulnerables que en el hito 2030. De la misma manera, las plantas terrestres presentan un valor de 0,24 en los tres escenarios climáticos utilizados.

Los valores que indican la relación entre las poblaciones y la precipitación en cada escenario climático se incrementa en términos absolutos para todos los escenarios climáticos para el modelo BAU. Así, para el escenario climático SSP1-RCP2.6 el grupo de los artrópodos presenta valores negativos de -0,36, mientras que para el escenario SSP2-RCP4.5 y para el SSP5-RCP8.5 adquieren valores positivos de 0,30 y 0,22 respectivamente. En el caso de las plantas terrestres, el funcionamiento es similar, con valores negativos para el SSP1-RCP2.6 y positivos para SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5, siendo -0,61, 0,50 y 0,37 respectivamente.

En lo que se refiere a la temperatura, en el escenario SSP1-RCP2.6 para plantas terrestres se obtiene un valor de 0,02, mientras que en los escenarios SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5 adquieren valores de 0,05 y 0,06 respectivamente. Para el caso de los artrópodos el análisis arroja valores de 0,03 para los escenarios SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5.

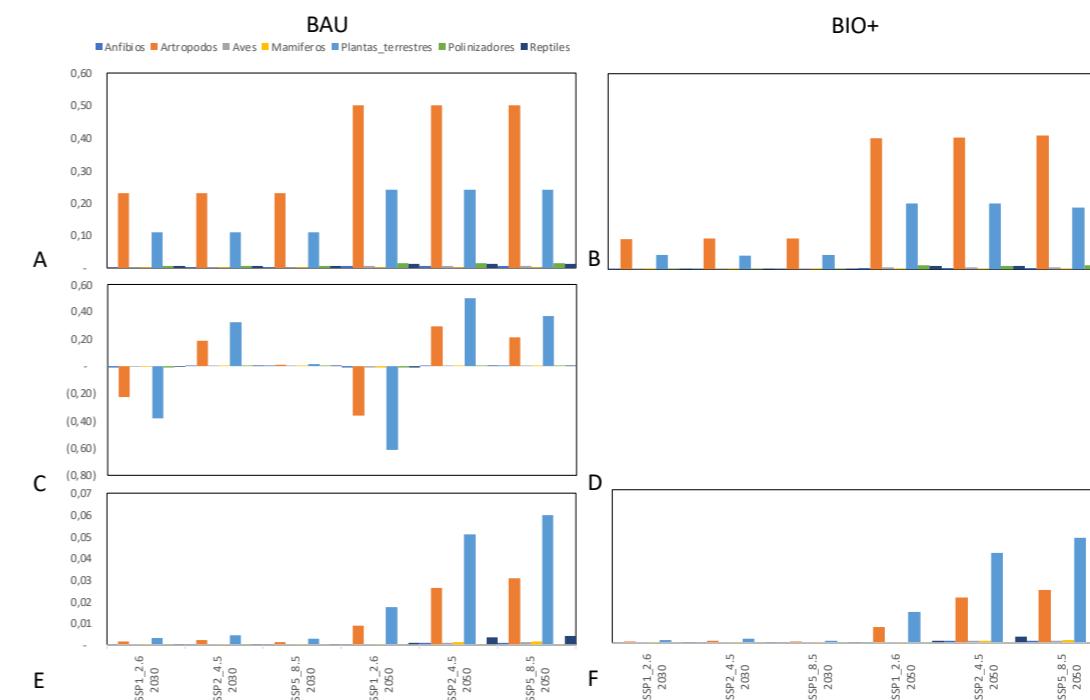


Figura 29
Efecto de las variables climáticas sobre la biodiversidad amenazada para cada grupo de especies. Las figuras A, C y E se refieren al modelo BAU y las figuras B, D y F al modelo BIO+. Las figuras A y B se refieren al efecto de las catástrofes, C y D al efecto de las precipitaciones, y E y F al efecto de las temperaturas.

4.2.2.2. Modelo BIO+

La magnitud que relaciona los efectos asociados a los escenarios climáticos y los cambios en los grupos de especies resultan menores en términos absolutos en este modelo, lo que indica que, en términos generales, el modelo BIO+ reduce el nivel de afectación de los efectos climáticos sobre los grupos de especies.

Así, para la relación entre los desastres asociados al cambio climático y las especies, el modelo BIO+ arroja valores del 60% menores para el hito 2030, por lo tanto con un cierto efecto resiliencia en todos los grupos. En el hito 2050 se observa que la beligerancia de los efectos en los distintos escenarios climáticos reduce la diferencia entre el modelo BAU y el modelo BIO+, estrechando la diferencia entre ambos modelos. No obstante, en este segundo hito temporal encontramos valores 16-24% menores para el modelo BIO+.

En el caso del efecto de las precipitaciones sobre los grupos de especies, el modelo BIO+ arroja valores 47-61% menores que el modelo BAU para 2030, mientras que para 2050 esta diferencia se reduce a 18-21% menores. Aquí se repite el mismo patrón, indicando que el modelo BIO permite reducir el efecto de los cambios en la pluviometría sobre los grupos de especies en comparación con el modelo BAU.

Cuando se analiza el efecto de la temperatura sobre los grupos de especies, el modelo BIO+ arroja valores de influencia un 59-62% menores dependiendo del escenario climático para 2030, mientras que en 2050 la diferencia es de un 17-23% menores.

4.2.3. Especies amenazadas

Las proyecciones analizadas de especies amenazadas por grupo en los escenarios climáticos para los dos hitos temporales indican que, en términos generales, las especies amenazadas se reducen en el modelo BIO para todos los escenarios climáticos (figura 30 y 31).

De un lado, la biodiversidad amenazada presenta un rango de entre 439 y 563 especies amenazadas en el modelo BAU para 2030 en los escenarios climáticos SSP1-RCP2.6 y SSP2-RCP4.5 respectivamente. En particular destacan dos grupos de especies: las plantas terrestres y los artrópodos. Mientras que el primero resulta en valores de entre 232 (SSP1-RCP2) y 304 (SSP2-RCP4.5), el segundo arroja valores que oscilan entre las 163 especies amenazadas (SSP1-RCP2.6) y las 211 (SSP2-RCP4.5). De esta manera, mientras que en el escenario SSP1-RCP2.6 las plantas terrestres y los artrópodos suponen el 53% y 37% de todas las especies amenazadas, en el escenario SSP5-RCP4.5 las plantas terrestres suponen el 52% y los artrópodos el 39%.

Al comparar los resultados de los modelos de transición observamos que las especies amenazadas en el modelo BIO+ son un 10% menores que en el modelo BAU (395-507 especies dependiendo del modelo) para 2030, donde también se repiten las plantas terrestres (209-274 especies dependiendo del escenario) y los artrópodos (147-

190 especies, dependiendo del escenario) como grupos con mayor número de especies amenazadas.

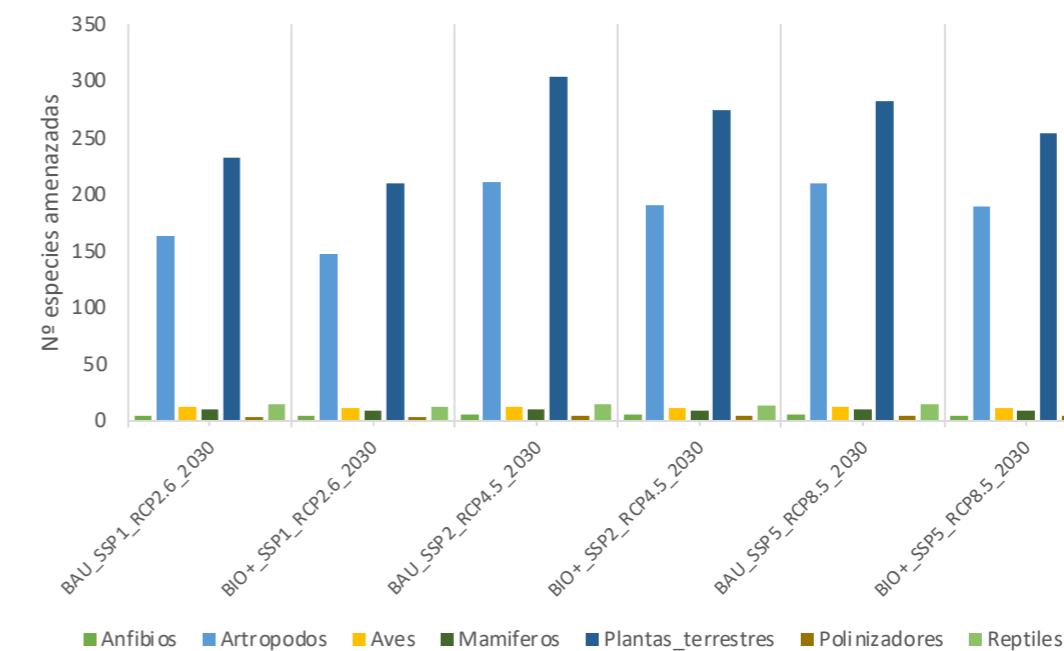


Figura 30
Especies amenazadas según los escenarios climáticos y modelos de transición estudiados para el conjunto de los grupos de especies en 2030.

En el caso del hito temporal 2050 observamos que, mientras en el escenario climático SSP1-RCP2.6 el número de especies amenazadas en el modelo BAU desciende un 8% (405 especies), para el escenario SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5 éstas aumentan hasta 599 y 604 respectivamente, lo que supone un 6% y un 12% para estos dos escenarios con respecto al año 2030. En particular, en el escenario SSP1-RCP2.6 los grupos que más decrecen en número de especies amenazadas son los polinizadores (10%), las plantas terrestres (9%) y los artrópodos (8%). Del otro lado, el crecimiento de las especies amenazadas en el escenario SSP2-RCP4.5 resulta más agudo en polinizadores y plantas terrestres (7%), y en anfibios y artrópodos (6%), siendo relevante precisamente las plantas terrestres y los artrópodos por ser los que presentan las mayores cantidades de especies amenazadas (325 y 223 especies respectivamente) para este hito. En el caso del escenario climático SSP5-RCP8.5 observamos que las plantas terrestres y los polinizadores son los grupos que más crecen en especies amenazadas (14% y 12% respectivamente), seguidas de anfibios y artrópodos (11%).

Al comparar entre modelos dentro del hito temporal observamos cómo el modelo de transición BIO+ arroja un descenso de las especies amenazadas del 23% con respecto al modelo BAU para cualquier escenario. De hecho, el apostar por el modelo de transición BIO+ supone que entre 2030 y 2050 pueden reducirse entre un 4% y un 21% el número de especies amenazadas (SSP5-RCP8.5 y SSP1-RCP2.6 respectivamente), fruto de la acumulación y progreso de medidas beneficiosas para la biodiversidad. Lo que resulta más relevante es que de los grupos de especies más amenazadas (plantas terrestres y artrópodos), se reducen las especies amenazadas entre un 3% y un 22% dependiendo del escenario climático.

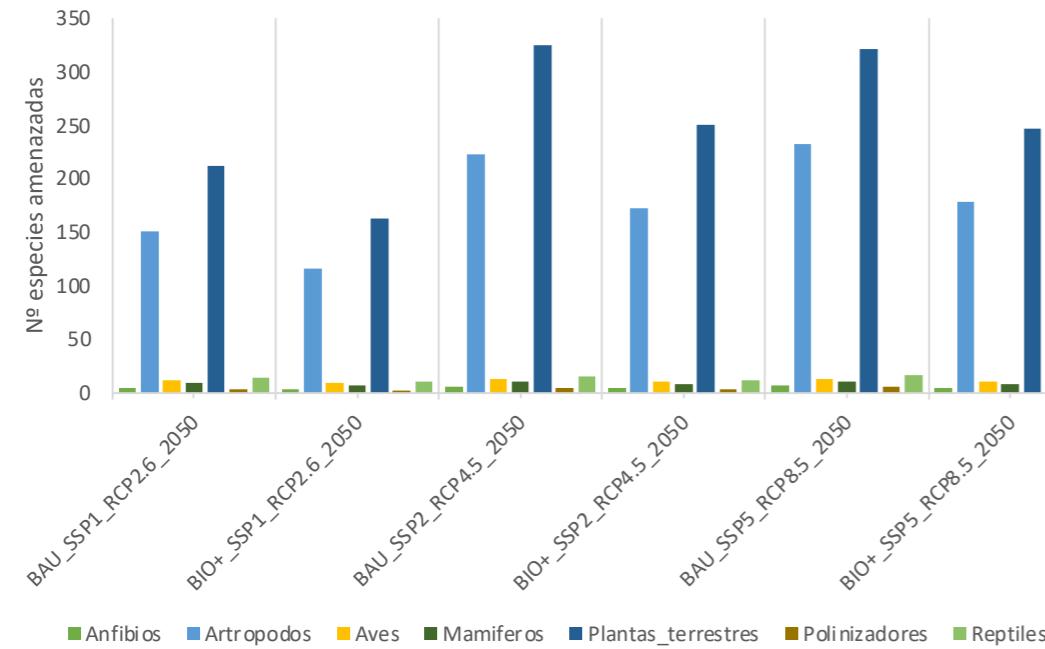


Figura 31
Especies amenazadas según los escenarios climáticos y modelos de transición estudiados para el conjunto de los grupos de especies en 2050.

Si observamos los cambios en los valores relativos (figura 32), es decir, el incremento o descenso de especies amenazadas con respecto al baseline en los dos hitos temporales, observamos diferencias significativas dependiendo del escenario climático, aunque con una tendencia común entre modelos de transición.

En el escenario SSP1-RCP2.6 para 2030 se observa que, para el modelo BAU, las plantas terrestres, los anfibios y los mamíferos disminuyen la cantidad relativa de especies amenazadas con respecto a la actualidad, con valores de -10%, -5% y -2% respectivamente. No obstante, en el caso del modelo BIO+ observamos que estos valores son muy superiores, con descensos del -19%, -14% y -12% para plantas terrestres, anfibios y mamíferos respectivamente para el mismo hito temporal. Es paradigmático el caso de las aves ya que, mientras en el modelo BAU presenta un descenso para este escenario del 0,4%, en el modelo BIO las especies amenazadas descienden un 10%. Esto implica que el modelo BIO+ potencialmente reduciría cerca de 25 veces las especies amenazadas más con respecto al modelo BAU. Este mismo comportamiento lo observamos en artrópodos, precisamente porque en este mismo escenario climático en el modelo BAU las especies amenazadas aumentan un 1% y en el modelo BIO+ descienden un 9%. Los grupos de especies de polinizadores y reptiles también presentan este comportamiento, es decir, que en el modelo BAU aumenta el número de especies amenazadas y en el modelo BIO+ éstas descienden.

En el escenario SSP2-RCP4.5.6 y SSP5-RCP8.5 observamos que, para 2030, todos los grupos de especies incrementan las especies amenazadas con respecto a la actualidad en el modelo BAU, con rangos que oscilan entre el 3% y el 51%. De los grupos de especies, los polinizadores son el grupo que mayor incremento en las especies amenazadas presenta, con valores del 49% para el escenario SSP2-RCP4.5 y del 51% en el escenario SSP5-RCP8.5. Le siguen los artrópodos (31% y 30% en SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5 respectivamente), y anfibios (17% y 12%

en SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5 respectivamente). No es así en el caso del modelo BIO+, que para esos mismos dos escenarios climáticos presentan sistemáticamente menores valores. Así, aunque el porcentaje en los grupos de polinizadores, artrópodos y anfibios también se incrementan en el BIO+, éstos resultan inferiores al del modelo BAU, ya que mientras en el primer modelo obtenemos valores de 34-36% para polinizadores, 17-18% para artrópodos y 1-5% para anfibios, en el modelo BAU ascienden a 49-51% para polinizadores, 30-31% para artrópodos y 12-17% para anfibios. En el caso de mamíferos y aves observamos que mientras en el modelo BAU se incrementan aquellas especies en peligro entre un 3 y un 6%, en el modelo BIO+ descienden entre un 4 y un 7% para el 2030. De la misma manera, los reptiles descienden entre un 2 y un 8% dependiendo del escenario climático del que se trate para el modelo BIO+, mientras que en el modelo BAU incrementan el porcentaje de especies amenazadas entre un 2% y un 9%.

Para el caso del hito temporal 2050 los resultados sugieren que solo el escenario climático SSP1-RCP2.6 presenta descensos en algunos grupos de especies para el modelo BAU, en concreto las plantas terrestres (-10%), los anfibios (-5%) y los mamíferos (-2%). Tanto en el resto de grupos como en los otros escenarios climáticos se observa un incremento de las especies amenazadas, destacando los polinizadores (7%, 49 y 51% para los escenarios SSP1-RCP2.6, SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5 respectivamente). La acumulación de medidas idóneas del modelo BIO+ permite rescatar del estatus de especies amenazadas a la mayoría de los grupos de especies para 2050, y a las que no permite evadir la amenaza, presenta menores cambios drásticos con respecto al modelo BAU. Así, el escenario SSP1-RCP2.6 resulta ser el más beneficioso para plantas terrestres (-31%), anfibios (-27%), mamíferos (-25%), aves (-23%), artrópodos y reptiles (-22%) y polinizadores (-18%). Pero también se observan descensos en las especies amenazadas en los escenarios climáticos SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5 con este modelo, destacando los mamíferos, que descienden 19 y 21% respectivamente, aves, con descensos del 18% y 19% o reptiles con valores de 17% y 16%. En el caso de los polinizadores y artrópodos, en SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5 se observa que hay más especies amenazadas que en la actualidad, pero siempre menor que en el BAU. Esto es lo mismo que decir que, en el modelo BIO+, los grupos de especies que menos reducen la presencia de especies amenazadas presentan mayor valor absoluto que el menor de las reducciones en el modelo BAU.

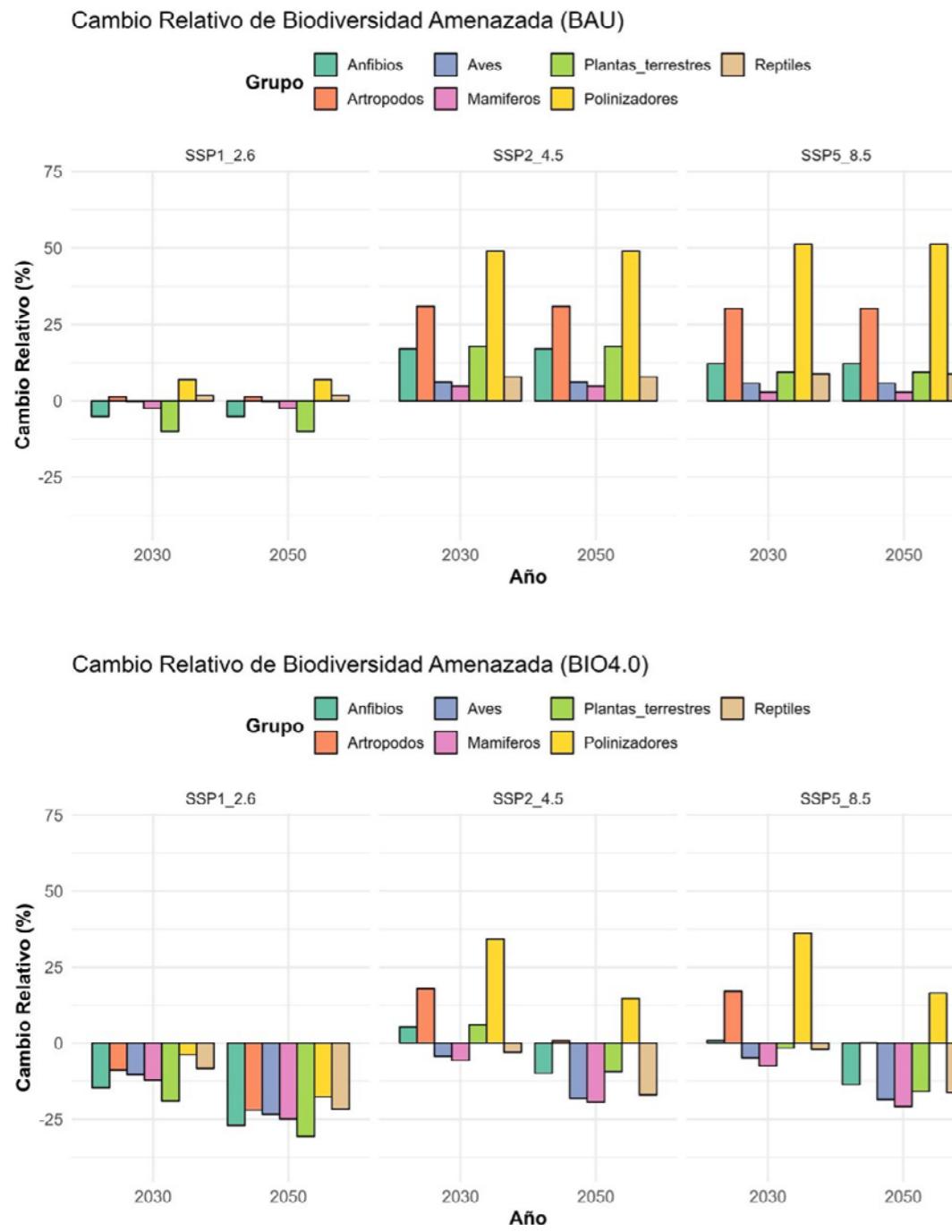
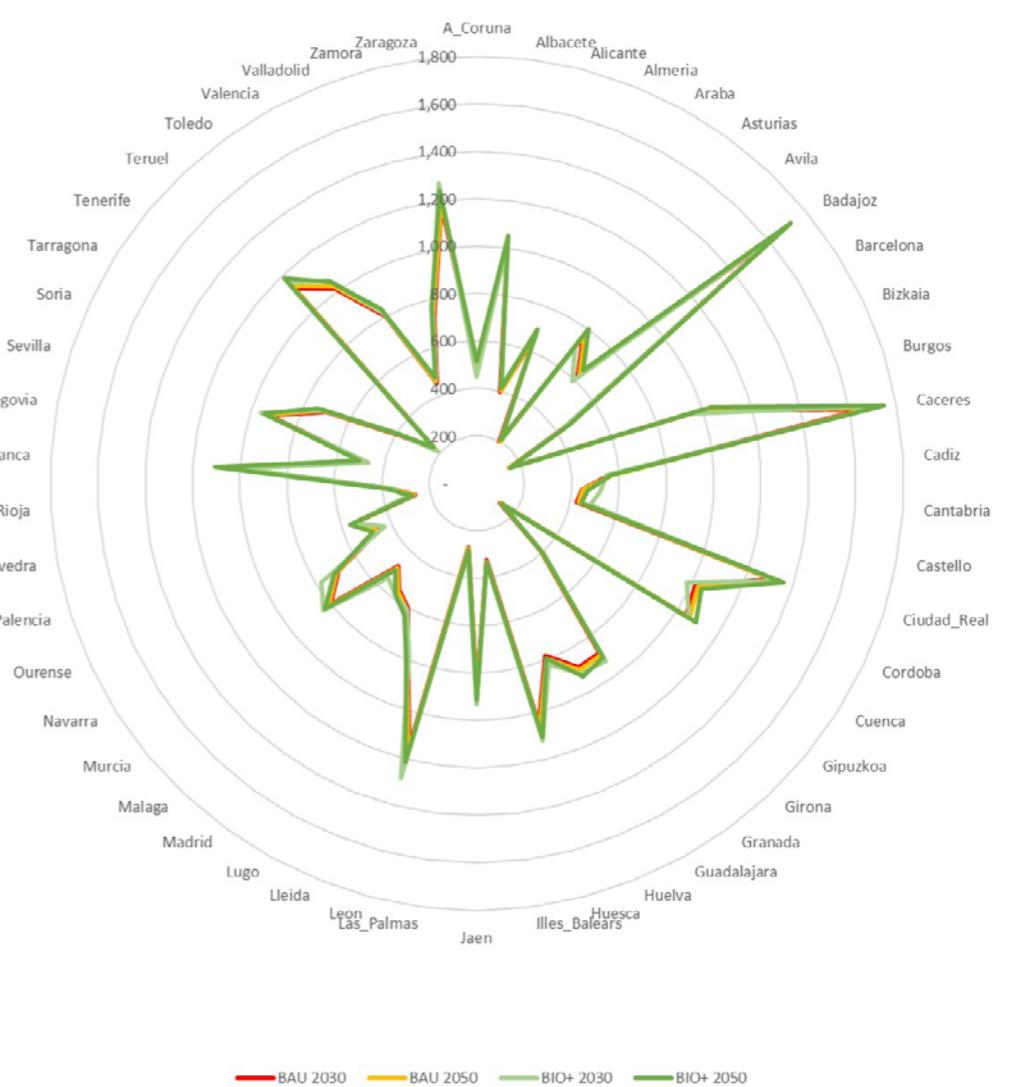


Figura 32
Cambio relativo de los grupos de especies amenazadas, en términos relativos con respecto a las especies amenazadas en la actualidad, para el modelo BAU (superior) y BIO (inferior), en los distintos escenarios climáticos.



A la hora de analizar la riqueza de especies que resulta de los modelos de transición, podemos observar determinadas diferencias ya en el hito temporal 2030. En el estado español se observa que el modelo BIO permite una riqueza de especies un 3% superior al del modelo BAU para el mismo hito temporal. Mientras que los valores estatales oscilan entre las 34.656 especies (escenario SSP2-RCP4.5) y las 35.759 especies (escenario SSP1-RCP2.6) para el modelo BAU, en el modelo BIO oscilan entre los 35.653 especies (escenario SSP2-RCP4.5) y las 36.756 especies (escenario SSP1-RCP2.6).

Esta mayor riqueza de especies observada a nivel nacional no es igual en todas las provincias (figura 33), sino que presenta valores mucho mayores, como en el caso de Cantabria (18% mayor riqueza de especies) o Pontevedra, Castellón, Las Palmas y Málaga con un 13% superior en el modelo BIO+ con respecto al modelo BAU. Del otro lado, otras provincias presentan una riqueza menor en el modelo BIO+ como es el caso de A Coruña y Asturias, con un 8% menos de especies, u Ourense o Santa Cruz de Tenerife, con 7% menor riqueza de especies.

Además, es relevante identificar lo que ocurre en las provincias con mayor riqueza de especies. Badajoz y Cáceres son las provincias con mayor riqueza de especies con respecto al total nacional (5%

cada una), seguidas de Ciudad Real (4%), León (3%), Teruel (3%) y Zaragoza (3%). Todas ellas incrementan su riqueza de especies en el modelo BIO+ con respecto al modelo BAU entre un 2% y un 11% dependiendo de cuál se trate. Así, Badajoz y Ciudad Real presentan una riqueza de especies 2% superior, seguido de Teruel (3% superior), Cáceres (4%), Zaragoza (7%), y León (11%).

En el hito 2050 se observa que la diferencia entre modelos de transición se mantiene al 3% superior para el modelo BIO+ a nivel estatal. Mientras que en el modelo BAU la riqueza de especies oscila entre 34.682 especies (escenario SSP2-RCP4.5) y 36.759 especies (escenario SSP1-RCP2.6), en el caso del modelo BIO+ oscila entre 35.679 (escenario SSP2-RCP4.5) y 37.757 especies (escenario SSP1-RCP2.6). Las mayores diferencias en términos provinciales ocurren en Ávila, Huesca, Las Palmas y Salamanca, todas ellas con un 4% más de especies en el modelo BIO+. Cádiz y Huelva presentan valores inferiores en el modelo BIO+ con respecto al modelo BAU, aunque su diferencia es menor al 1%. De nuevo aquí, las provincias con mayor riqueza en biodiversidad (Badajoz y Cáceres) presentan un 3% más de riqueza en el modelo BIO+ con respecto al BAU.

4.2.4. Biodiversidad marina

Tomando en consideración los cambios de pH y temperatura basados en las proyecciones del IPCC de los distintos escenarios climáticos, y combinándolo con los datos disponibles en Aquamaps⁵ como modelo de referencia de la ocurrencia de las especies, se ha podido estimar el número de especies disponibles en las zonas consideradas como caladero nacional.

Así, observamos que, incluso para el hito 2050 (figura 34) las diferencias entre modelos climáticos son menores. De un lado, el total de especies marinas en el escenario actual en el caladero nacional asciende a 34.800 especies, de las que el 31% se sitúa en el océano Atlántico Norte, el 30% en el Atlántico Sur, 20% en el Mar Mediterráneo norte y 20% en el Mediterráneo sur. Dicha biodiversidad prácticamente se mantiene para los escenarios SSP1-RCP2.6 y SSP2-RCP4.5 (34.788 y 34.727 respectivamente) o desciende un 1% para el caso del escenario SSP5-RCP8.5 (34.372 especies) para el 2050.

El descenso en riqueza de especies es especialmente importante en el escenario SSP5-RCP8.5, donde el Mediterráneo norte presenta un descenso el 3% con respecto a los valores actuales, seguido del Mediterráneo sur, con un 2% de descenso, y finalmente el atlántico sur, con un 1% de caída. Solo el Atlántico Norte presenta un incremento de especies (31 especies). En total, esto supone la pérdida de 428 especies en total para 2050 en dicho escenario climático.

⁵ [Aquí](#)

En el caso del escenario climático intermedio (SSP2-4.5) observamos la pérdida de 73 especies, especialmente en el Mediterráneo norte, con un 1% de descenso con respecto al baseline (98 especies) seguido del Atlántico sur, con la pérdida de 31 especies. Del otro lado, el atlántico norte y el mediterráneo sur presentan incrementos de 33 y 21 especies respectivamente.

Por último, el escenario climático SSP1-RCP2.6 supone el escenario con menor reducción de especies con respecto a la actualidad, descendiendo un total de 13 especies. La caída principalmente ocurre en el atlántico sur (11 especies) y en el mediterráneo sur (10 especies), y aunque en el atlántico norte se experimenta un posible incremento (9 especies) el saldo total resulta negativo.

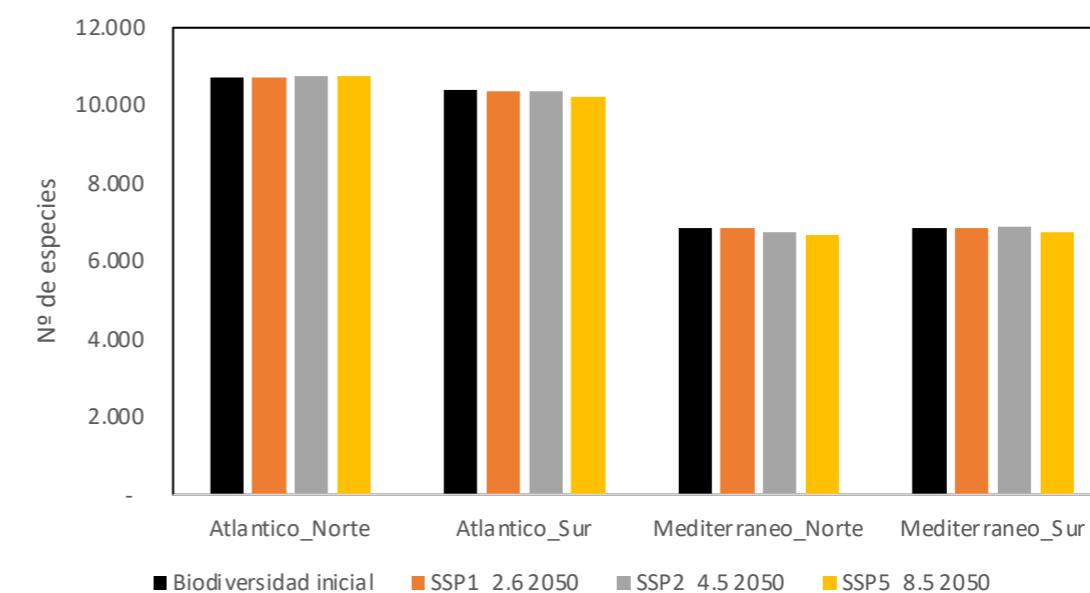


Figura 34
Número de especies en la actualidad y en los escenarios climáticos, para cada una de las zonas del caladero nacional.

Esta biodiversidad marina presente tiene también una repercusión en el volumen total de capturas en cada modelo de transición, en particular cuando se tienen en consideración los efectos de las áreas marinas protegidas (MPA). El efecto se observa en la figura 35. La presencia de biomasa potencialmente capturable (categoría “inicial”) se incrementa debido al efecto “spillover” derivado de las MPA, ya que dichas áreas permiten la reproducción de las especies y generan un incremento en las áreas pesqueras colindantes (barra “ajustada”). Del total de biomasa derivado de este efecto, una fracción es la que se captura y a partir de la que se ha construido el modelo BIO+ (barra “modelizada”).

Para el 2030 se puede observar que el potencial de incremento de las capturas es del 8% con respecto a la biomasa existente, mientras que para el 2050 este valor asciende al 22% de incremento.

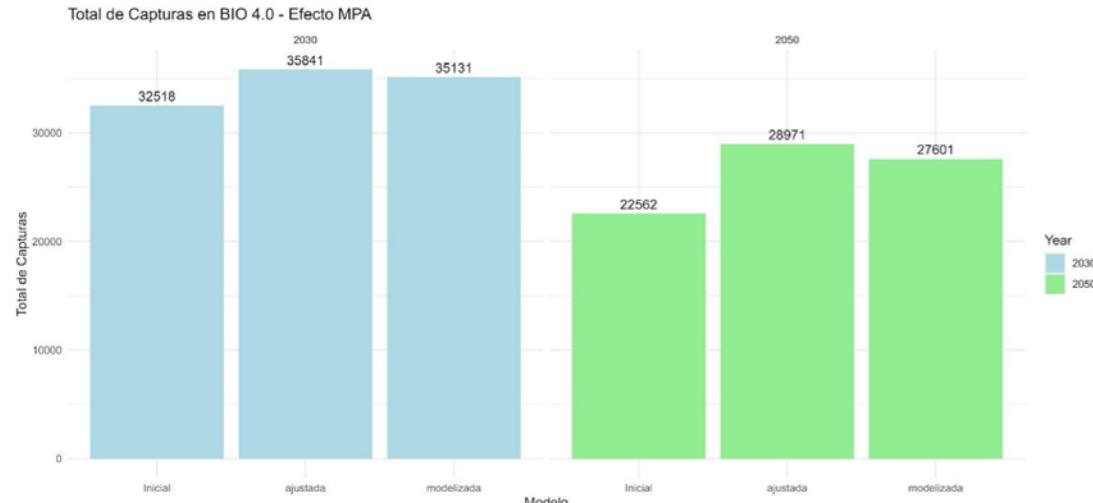


Figura 35
Modelado del efecto de las Áreas Marinas Protegidas (MPA) sobre las capturas, como parte del modelo de transición BIO+. La barra “inicial” muestra el valor proyectado para la biomasa marina disponible para ser capturada previa a la existencia del efecto spillover por la cercanía a las MPAs. La barra “ajustada” muestra el incremento como consecuencia de la existencia de las MPAs. “Modelizada” se refiere a la corrección realizada sobre la barra “ajustada” para identificar las capturas que se realizan en el horizonte 2030 y 2050.

4.3. Huella hídrica

De acuerdo con la metodología utilizada para la consideración de las superficies de regadío, para los escenarios BIO+ hay una reducción entre 55 y 122 mil hectáreas para el horizonte 2030 y entre 83 y 163 mil hectáreas para el horizonte 2050, en comparación con la línea base de 2019 y los BAU (que se mantienen idénticos en 3,99 millones de ha) (figura 36). Dichos cambios en la composición de las superficies, de acuerdo con su régimen de uso del agua, sumado a la eliminación del uso de fertilizantes de origen sintético, contribuyen claramente a una reducción en la huella hídrica total, en particular de la azul y la gris que son las generadoras de tensión, como se desarrolla en los siguientes sub-apartados.

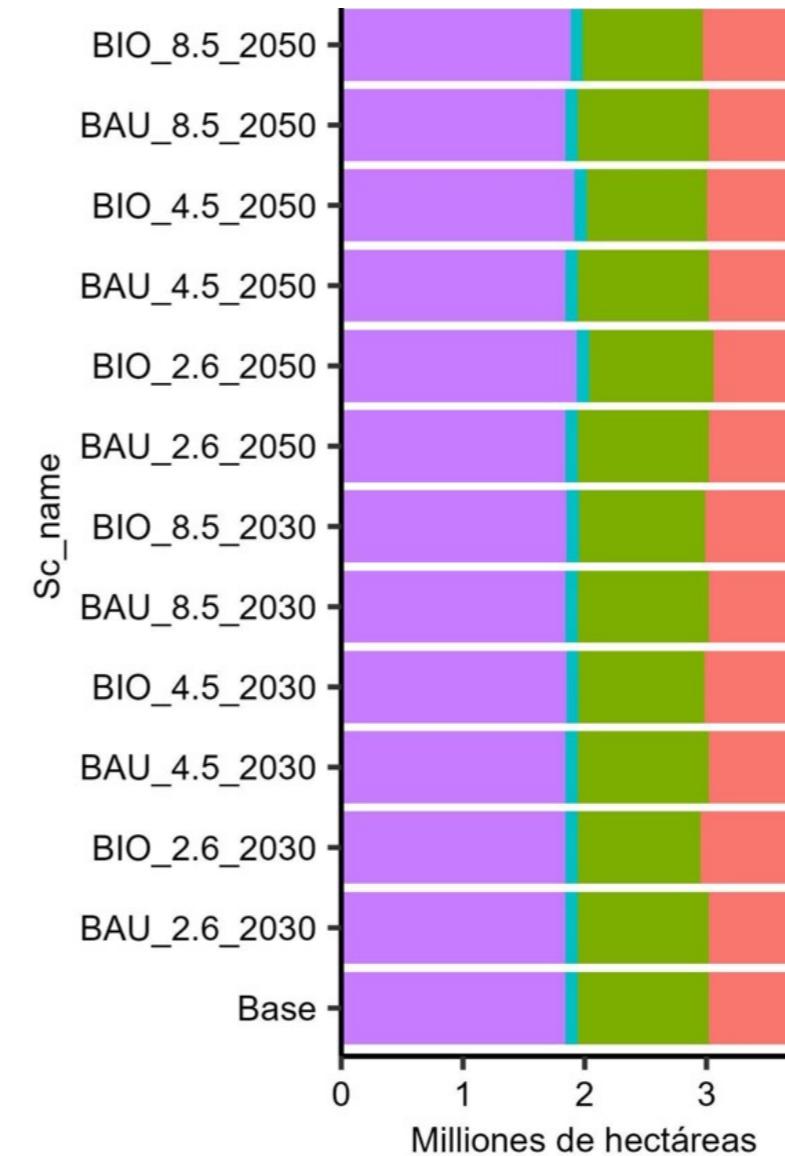


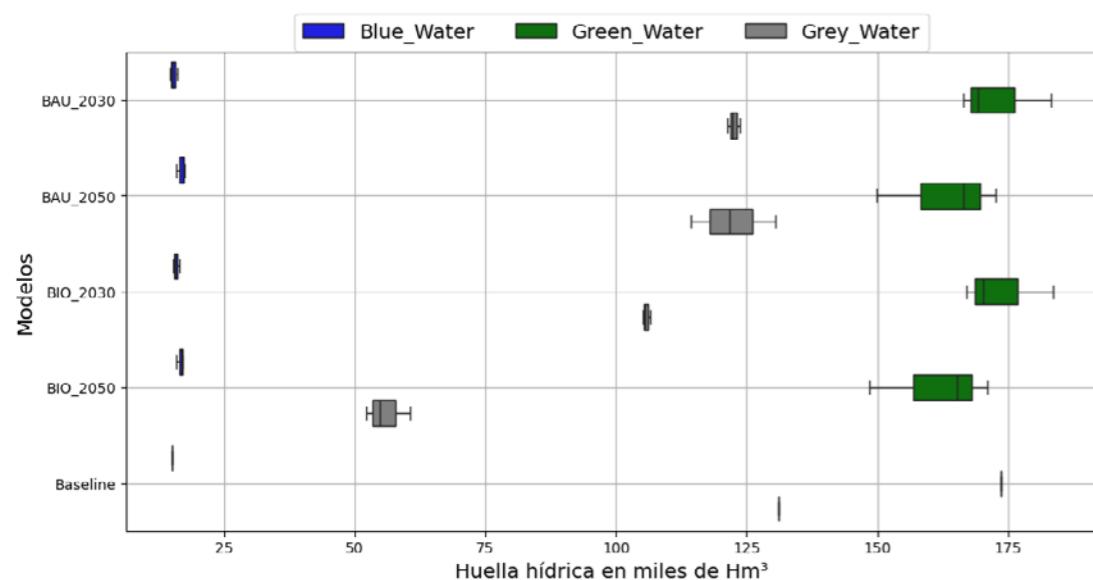
Figura 36
Composición del total de las superficies de regadío de acuerdo con las tipologías de riego (de izquierda a derecha: goteo, inundación, aspersión y tradicional).

4.3.1. Huella hídrica en Hm³:

La huella hídrica absoluta, expresada en miles de Hm³, y la relativa, expresada en m³/Ton, reflejan las variaciones, respecto de la línea base, que en las tres componentes de la huella (verde, azul y gris) se dan de acuerdo con los escenarios analizados.

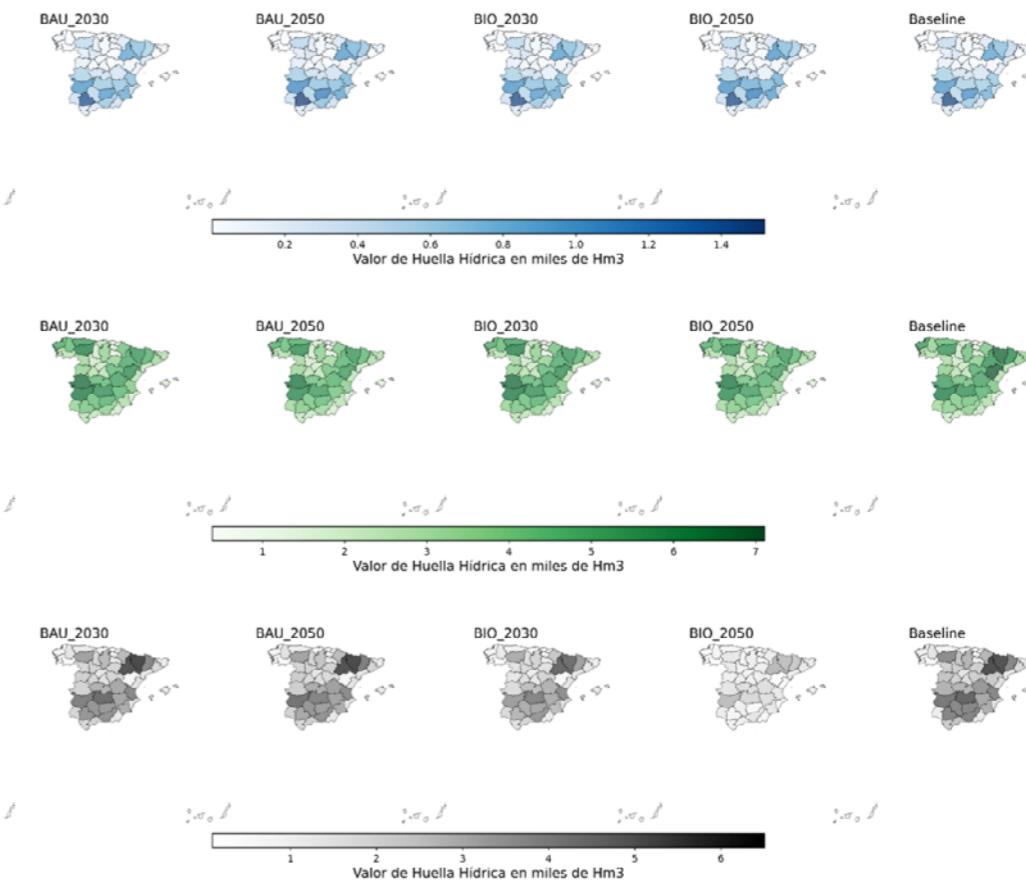
4.3.1.1. Huella hídrica total

La agregación de los tres tipos de huella hídrica de la producción a nivel estatal muestra que la huella hídrica verde (agua procedente de la lluvia) tiene un peso muy relevante tanto en la línea base como en los escenarios, respecto a la huella azul (agua de regadío) y la gris (agua necesaria para diluir los aportes de nitratos). En el caso de la línea base, la huella hídrica verde es 11.6 veces mayor que la azul, y 1.3 veces la gris, como se ve en la siguiente figura siguiente.



Como se aprecia en la figura 37, los rangos de variación de las huellas hídricas, en particular de las verde y gris, están muy condicionadas por las posibles trayectorias que puedan darse del forzamiento climático (temperaturas y precipitación), y en menor medida la huella hídrica azul (regadío) dado que la explotación de los recursos hídricos está al límite de disponibilidad y no permite incrementos significativos, salvo en regiones como Galicia por sus condiciones climáticas. En el caso de la línea base no hay variabilidad ya que es un valor representativo de la situación actual. En las siguientes figuras se presenta la variabilidad espacial de las tres huellas asumiendo los valores medios del rango de variabilidad de los escenarios climáticos presentados en la anterior figura.

Figura 37
Huella hídrica verde, azul y gris para el conjunto del Estado Español en miles de Hm³ (el rango de valores representa la variabilidad resultante de los tres escenarios de cambio climático).



En prospectiva, en el BAU y en el BIO en general (salvo SSP5-RCP8.5) para los tres escenarios (SSP1-RCP2.6, SSP2-RCP4.5, SSP5-RCP8.5) y los dos horizontes (2030 y 2050) la huella hídrica verde se reduce mientras que la azul aumenta, dinámica que refleja los efectos de los posibles cambios en las variables climáticas (mayores temperaturas y menor precipitación) que modulan la composición de los regímenes de riego en función de la disponibilidad hídrica. En cualquier caso, como se muestra en la figura 38, se confirma el rol que aún juega, y seguirá jugando, la agricultura de secano para la provisión de servicios agroecosistémicos. Por el contrario, las huellas hídricas azul y gris tienen asociados efectos relacionados con la tensión en los recursos hídricos en las dimensiones de cantidad y calidad, respectivamente, situación que se agrava bajo las tendencias que marcan los factores asociados al cambio climático y claramente el peso lo llevan los cultivos convencionales. En el caso de la huella hídrica azul, la tensión sobre el agua aumentará si no se hace nada (BAU), en particular para el horizonte 2050 donde el consumo aumentará entre 5-16% respecto a la línea base, mientras que bajo una gestión agroecológica (BIO) la huella hídrica azul también aumentará, pero será en menor medida que en comparación con el BAU (entre 5-13% respecto de la línea base). En el caso de la huella hídrica gris, la situación actual es preocupante ya que las necesidades de agua para diluir la contaminación producida por nitratos se acerca a la de agua de lluvia consumida (la relación entre las dos es apenas de 1.3). En la huella hídrica gris se nota claramente la diferencia entre el BAU y el BIO, mientras en el BAU hay una

Figura 38
Huella hídrica azul, verde y gris provincial expresada como el valor medio de los tres escenarios climáticos en miles de Hm³.

ligera reducción de la huella gris (entre el 7 y 1% de reducción en los horizontes 2030 y 2050), en el BIO las reducciones son significativas (entre el 20% y el 57% para los respectivos horizontes temporales).

Territorialmente, los impactos actuales, tanto cuantitativos como cualitativos, se concentran mayoritariamente en unas provincias. Por ejemplo, desde el punto de vista del consumo de agua (huella hídrica azul), 9 provincias consumen más del 50% del total, 16 el 75% y 24 el 90%. En su orden las que mayores consumos tienen del total son Sevilla (10%), Jaén y Badajoz (7%), Zaragoza (6%), Murcia y Huesca (5%), Valencia, Granada, Albacete, Cáceres y Ciudad Real (4%), Córdoba, Alicante, Lleida, León y Huelva (3%), Almería, Toledo, Cuenca, Tarragona, Valladolid, Málaga, Navarra y Cádiz (2%). Esas provincias suman el 90% del consumo total. Las demás provincias tienen consumos en torno al 1% del total o menores. En términos de huella hídrica gris, asociada a la contaminación por nitratos, en su orden las provincias que mayor impacto del total realizan son Zaragoza y Huesca (5%), Ciudad Real, Badajoz, Granada, Sevilla, Valencia, Lleida, Jaén y Córdoba (4%), León, Cuenca, Albacete, Murcia y Cáceres (3%). Esas provincias suman el 54% del total.

El anterior panorama se refuerza en el BAU cuyo consumo por regadío se aumenta en un 2% a 2030 (+262.23 Hm³) y 11% a 2050 (+1761.98 Hm³), respecto de la línea base, siendo las composiciones territoriales muy similares en los dos hitos temporales de 2030 y 2050. Al hito 2050, las provincias que mayor consumen del total por regadío son Sevilla (9%), Jaén (7%), Badajoz y Zaragoza (6%), Murcia, Valencia y Huesca (5%), Granada, Albacete, Ciudad Real, Lleida y Cáceres (4%), Córdoba, Alicante y León (3%), Huelva, Toledo, Almería, Cuenca, Tarragona, Valladolid, Navarra y Málaga (2%), Cádiz (1%). Esas provincias consumen el 90% del total. Para el caso de la huella hídrica gris, el comportamiento del BAU respecto de la línea base es similar. En su orden, las provincias que mayor impacto del total realizan son Huesca y Zaragoza (5%), Ciudad Real, Badajoz, Lleida, Valencia, Granada, Sevilla, Córdoba y Jaén (4%), Cuenca, Albacete, León, Toledo y Murcia (3%), Burgos, Navarra, Salamanca, Cáceres, Palencia, Málaga, Guadalajara, Valladolid, Soria, Huelva, Barcelona, Zamora, Cádiz y Ávila (2%). Esas provincias suman el 83% del total.

En cuanto a los resultados de la transición agroecológica, los resultados muestran que es viable mantener unas productividades altas, con consumos de agua (huella hídrica azul de +10% respecto la línea base) y lixiviación de nitratos a los acuíferos (huella hídrica gris reduciendo un 57% respecto la línea base) menores que en el BAU a 2050. Al hito 2050, las provincias que mayor consumen del total por regadío son Sevilla (9%), Jaén (7%), Badajoz, Zaragoza y Murcia (6%), Ciudad Real y Valencia (5%), Huesca Albacete, Granada (4%), Lleida, Cáceres, Córdoba, Alicante y León (3%), Huelva, Toledo, Almería, Valladolid, Tarragona, Navarra y Málaga (2%). Esas provincias consumirán el 87% del total. En cuanto a la huella gris, en su orden, las provincias que mayor impacto del total realizan son Zaragoza (6%), Badajoz, Huesca y Lleida (55), Ciudad Real (4%), Cuenca, Albacete, Toledo, Granada,

Cáceres, León y Murcia (3%), Valencia, Barcelona, Zamora, Navarra, Huelva, Ávila, Burgos, Guadalajara, Córdoba, Girona, Soria, Salamanca, Málaga, Baleares, Tarragona, Madrid, Segovia, Cádiz, Palencia, Lugo y Sevilla (2%). Esas provincias suman el 87% del total.

4.3.1.2. Por categoría de cultivo

Para la situación actual, hay cuatro categorías de cultivos que sobresalen del conjunto de cultivos de todo el estado español respecto de su huella hídrica, especialmente de la huella hídrica gris: cereales, cítricos, forrajeros, olivar (figura 39). Dicha situación se magnifica en el BAU 2030 y 2050, mientras que en el BIO 2030 se mantiene la tendencia con valores similares excepto los cereales que caen casi a la mitad, y en el BIO 2050 en general se reducen en torno a un 50% salvo los cereales que se reducen en un orden de magnitud (10 veces menos) respecto de la línea base.

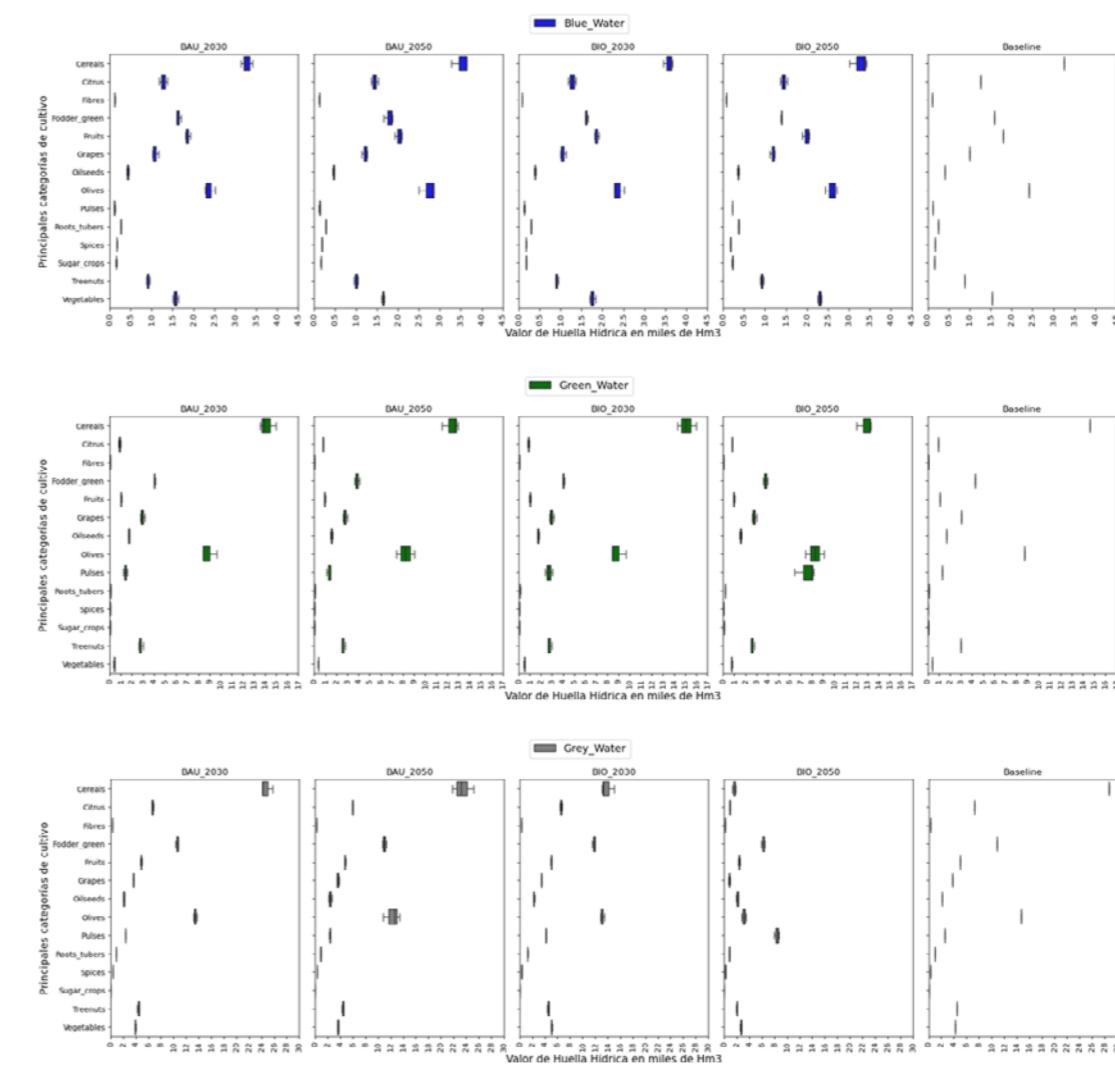


Figura 39
Huella hídrica por principales categorías de cultivos para la línea base y escenarios.

4.3.2. Huella en valores relativos (m³ por tonelada de producto)

En la figura 40 se presenta la estimación agregada de huella hídrica relativa para el conjunto del Estado español. Al igual que en la huella hídrica absoluta (figura 41), la huella hídrica verde tiene un rol fundamental en la producción y es de lejos la que mayores valores presenta. La siguiente huella en valor relativo es la gris, lo cual ya tiene un sentido negativo debido que está asociada con la contaminación por nitratos del agua subterránea. Sin duda, la transición hacia los BIO contribuirá a la reducción de la huella hídrica gris significativamente (hasta un 20% en el horizonte 2030 y un 57% en el de 2050), mientras que en el BAU puede incluso incrementarse en un 10% en el horizonte 2050.

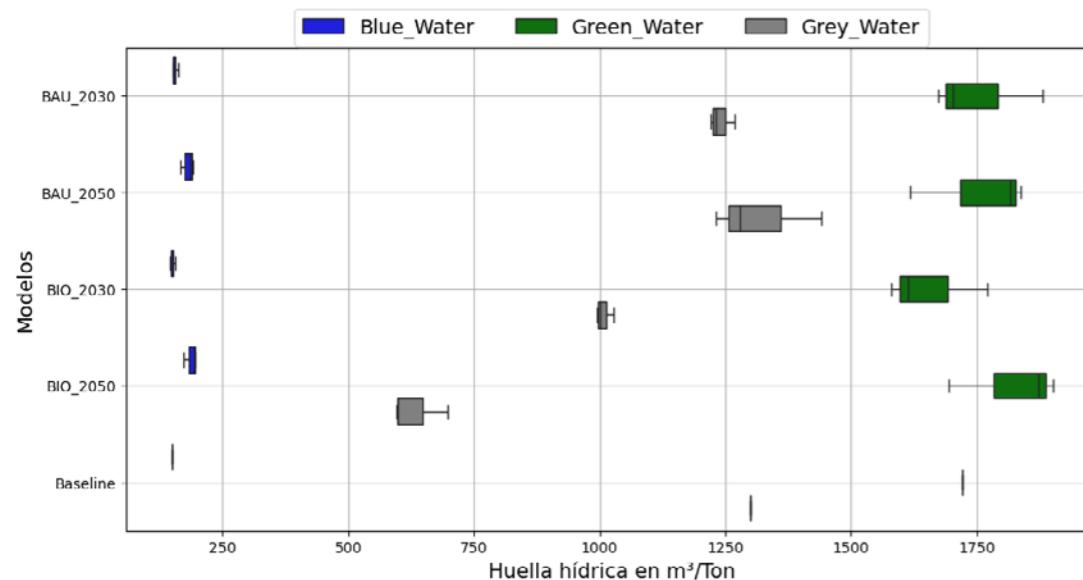


Figura 40
Huella hídrica
relativa en m³/Ton
para el conjunto
de la producción
española.

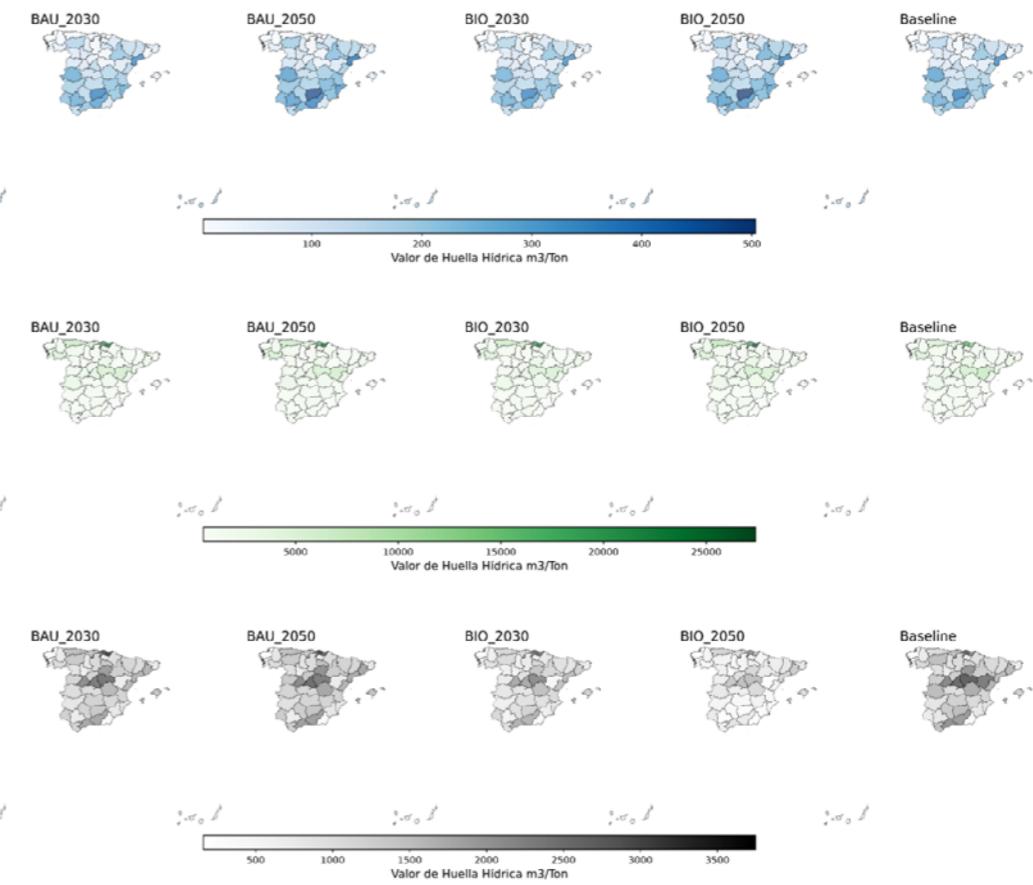


Figura 41
Huella hídrica azul,
verde y gris
provincial
expresada como
el valor medio
relativo (m³/Ton)
de los escenarios
climáticos.

4.4. Empleo

4.4.1. El sector agrícola y ganadero

El empleo estimado en el sector agrícola y ganadero para España, que comprende estas dos actividades productivas y la actividad forestal existente, asciende en la actualidad a 0,80 millones de UTAs, con un importante protagonismo del empleo vinculado a la actividad agraria (0,57 millones, 71%) y ganadera (0,22 millones de UTAs, 27%) (figura 42). La actividad forestal supone la actividad con menor empleo asociado, con 0,01 millones de UTAs (1%). La mayor parte de las UTAs en agricultura se encuentran asociadas al olivar, con 15% de las UTAs totales (0,12 millones de UTAs), seguido del viñedo (7%, 0,06 millones de UTAs). Los almendros y la cebada contribuyen con un 4% cada una a las UTAs totales (0,03 millones de UTAs cada una). En cuanto a la ganadería, destaca la aportación con el 14% de las UTAs totales de la ganadería bovina (0,11 millones de UTAs), y el 5% de la ganadería ovina (0,04 millones de UTAs).

El modelo BAU no arroja grandes cambios en el modelo productivo. De un lado, se observa un ligero incremento del empleo para 2030 (2%), lo que resulta en 0,82 millones de UTAs respectivamente. Al representar el modelo continuista, no se aprecian grandes cambios en las actividades agrícolas o ganaderas a destacar, aunque la ganadería incremente un 6% sus UTAs asociadas, principalmente por el crecimiento de los modelos intensivos de producción láctea (+19%) y de producción avícola (+32%) y cúnica (+33%). Esto hace que la ganadería incremente 1% su contribución al total de UTAs (0,23 millones de UTAs). Esta tendencia se refleja en el hito 2050 con mayor intensidad, donde se puede observar un incremento del 4% de las UTAs con respecto a la actualidad (0,84 millones de UTAs). Aquí, la agricultura pierde peso en las UTAs totales, pasando desde el 71% en la actualidad al 70%. Del otro lado, la actividad ganadera, altamente intensiva, incrementa la concentración de UTAs, pasando de representar el 27% de las UTAs en la actualidad al 29% en 2050 (0,24 millones de UTAs). Esto supone un incremento del 10% en este sector (0,22 millones de UTAs totales). En particular, destaca el crecimiento de las UTAs relacionadas con la cabaña avícola y cúnica (+54% y +55% respectivamente), de ganadería asociada a la producción láctea (+30%), o ganadería porcina (+14%). En términos de peso en las UTAs ganaderas, destaca que el ganado bovino presenta un incremento del 7% con respecto a la actualidad, lo que supone 0,11 millones de UTAs totales.

El modelo BIO+ supone una diferencia fundamental con respecto a la actualidad. Por un lado, en el hito 2030 se observa el incremento del 15% de las UTAs en España, pasando a 0,92 millones de UTAs. Este incremento viene aparejado a un crecimiento de la actividad agrícola del 6%, pasando de los 0,57 millones de UTAs en la actualidad a 0,61 millones de UTAs en 2030, y a un crecimiento aún más señalado de la ganadería (40%), que pasa de 0,22 millones de UTAs a 0,31 millones de UTAs. En cuanto a la actividad agrícola, la puesta en producción de barbechos para la producción de leguminosas se refleja en el incremento de las UTAs asociadas, que duplican el empleo asociado, aunque este es de poca magnitud (0,01 millones de ha). El crecimiento más relevante en agricultura es en la categoría de hortícolas, con un 14% de incremento con respecto a la actualidad, lo que supone pasar a 0,17 millones de ha para 2030. Pero el mayor crecimiento viene asociado a la actividad ganadera, debido a la implementación de la ganadería extensiva ovina y caprina, que crecen un 266% y 97% respectivamente con respecto a la actualidad (0,11 y 0,01 millones de UTAs respectivamente). Junto con el incremento de otras cabañas asociadas a la actividad extensiva, el total de la ganadería crece un 40% hasta alcanzar 0,31 millones de UTAs. También se observa un descenso a la mitad del empleo asociado al porcino, que en este modelo abandona la intensidad de su modelo productivo actual. En lo que se refiere al hito 2050, el modelo BIO+ arroja un crecimiento del 50% de las UTAs con respecto a la actualidad, alcanzando las 1,2 millones de UTAs. Aquí se refleja la tendencia que se recoge en el hito 2030, con crecimientos más intensos en la agrícola (+32%, 0,76 millones

de UTAs) y ganadera (+100%, alcanzando 0,44 millones de UTAs). En la actividad agrícola, destaca el crecimiento de las UTAs asociadas a la horticultura (+68%, 0,25 millones de UTAs en 2050), y a las leguminosas (+611%, 0,05 millones de UTAs). En la actividad ganadera, destaca el crecimiento asociado a la cabaña cúnica, que incrementa más de 10 veces el empleo asociado por el incremento de los pastos y el potencial de abastecimiento alimentario de esta cabaña, aunque en términos relativos sea menor (<0,01 millones de UTAs). La cabaña ovina presenta un incremento de 245% con respecto a la actualidad, con 0,14 millones de UTAs en 2050, y la cabaña caprina del 106% (0,02 millones de UTAs). La cabaña bovina láctea tiene asociada un incremento de 188% con respecto a la actualidad, con 0,05 millones de UTAs, y la cabaña bovina de carne (+86%, 0,2 millones de UTAs). En el caso del porcino, es la única cabaña que reduce el empleo asociado, quedándose en un 30% del actual (0,01 millones de UTAs).

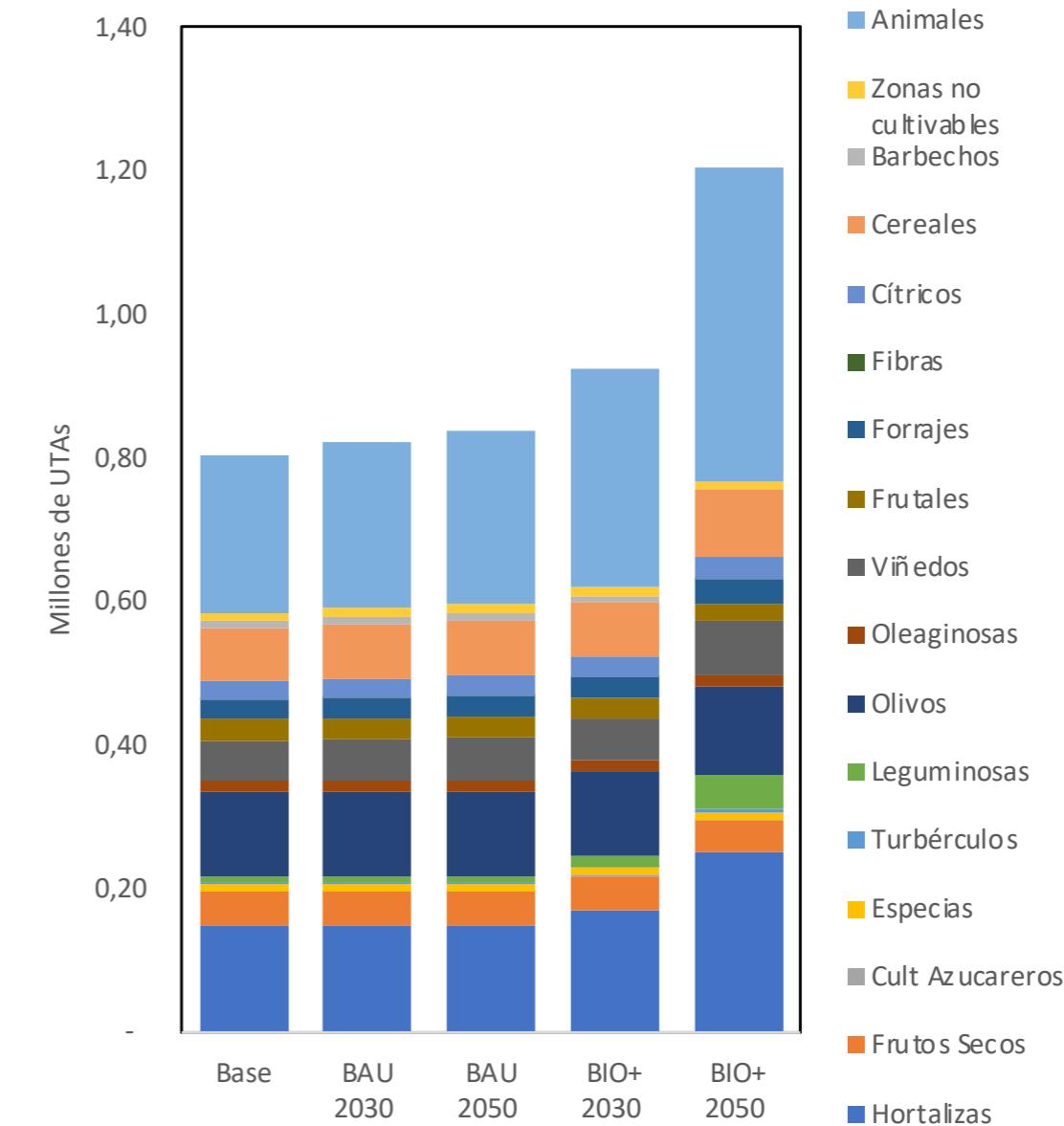


Figura 42
Empleo generado en el sector agrícola y ganadero para los modelos de transición en los hitos 2030 y 2050. Solo se incluye el sector primario en España.

4.4.2. El sector pesquero

Cuando observamos el empleo resultante en los modelos de transición para los hitos temporales 2030 y 2050, se toma en cuenta el número de empleados asociados al sector extractivo (pesca), acuícola (producción acuicultura) e industrial en España, por lo que no se considera el empleo indirecto generado en terceros países ante la falta de información oficial disponible.

Por un lado, en la actualidad observamos que el mayor número de empleos se encuentra asociado al sector extractivo, con 32.281 empleos, seguidos de los empleos generados por la industria de transformación (23.300 empleos) y de la acuicultura (14.743 empleos) (figura 43). Los datos, de manera combinada (acuicultura, industria y capturas) permiten analizar el impacto en el empleo de los modelos de transición (figura 44), alcanzando un valor superior a 70.000 personas en España.

El modelo BAU supone, en consonancia con la tendencia de los últimos años, un descenso del empleo para 2030, en un intervalo que va entre los 64.645 para el escenario SSP1-RCP2.6 y los 62.902 empleos en el SSP5-RCP8.5, con un resultado medio de 63.773 empleos, lo que supone un descenso del 8-11%. El único sector que puede incrementar para 2030 su empleo es la acuicultura, con incrementos entre el 23% y el 8% para SSP1-RCP2.6 y SSP5-RCP8.5 respectivamente. El sector extractivo desciende en el empleo en este modelo un 24-25%, mientras que la industria de transformación experimenta un descenso del 4% con respecto a la actualidad.

En el caso del hito temporal 2050 observamos que el descenso oscilaría hasta los 57.863 (SSP5-RCP8.5) y 59.724 empleos (SSP1-RCP2.6) (valor medio de 58.793 empleos, -18% y -15% respectivamente), con la acuicultura pudiendo crecer en términos de empleo generado entre un 28% (escenario SSP1-RCP2.6) y un 12% (SSP5-RCP8.5), mientras que el sector pesquero sufriría un descenso del empleo del 40-42% con respecto a la actualidad. La industria de transformación perdería un 6% del número de empleos independientemente del escenario climático que se trate. En total, se perdería un 15-18% del empleo generado actualmente (oscilando entre 57.900 y 59.800 personas) en el sector extractivo, acuicultura e industria de transformación, para el 2050.

Dentro del modelo BIO+ se observa un descenso del empleo total significativo con respecto a la actualidad del 24-26% dependiendo del escenario para 2030, pasando a 52.285 para el escenario SSP5-RCP8.5 y los 53.658 en el SSP1-RCP2.6. Todos los sectores descienden, siendo destacado el descenso del empleo de la industria de transformación (-40%), seguido de la actividad pesquera (-21-22%) y de la acuicultura (-1% en el SSP1-RCP2.6 hasta -13% en el SSP5-RCP8.5).

Para el año 2050 se observa una caída en el empleo del 47-49% aproximadamente, con disminuciones a 35.910 empleos para el escenario SSP5-RCP8.5 en el modelo BIO, que repunta ligeramente en el escenario SSP1-RCP2.6 hasta llegar a los 37.430 empleos gracias al aporte del aumento de empleos procedentes de la acuicultura. Las mayores pérdidas de empleo se producen en la industria de transformación, con una caída del 80-81% para 2050, seguido de los empleos asociados al sector extractivo (oscilando entre -43 y -44%).

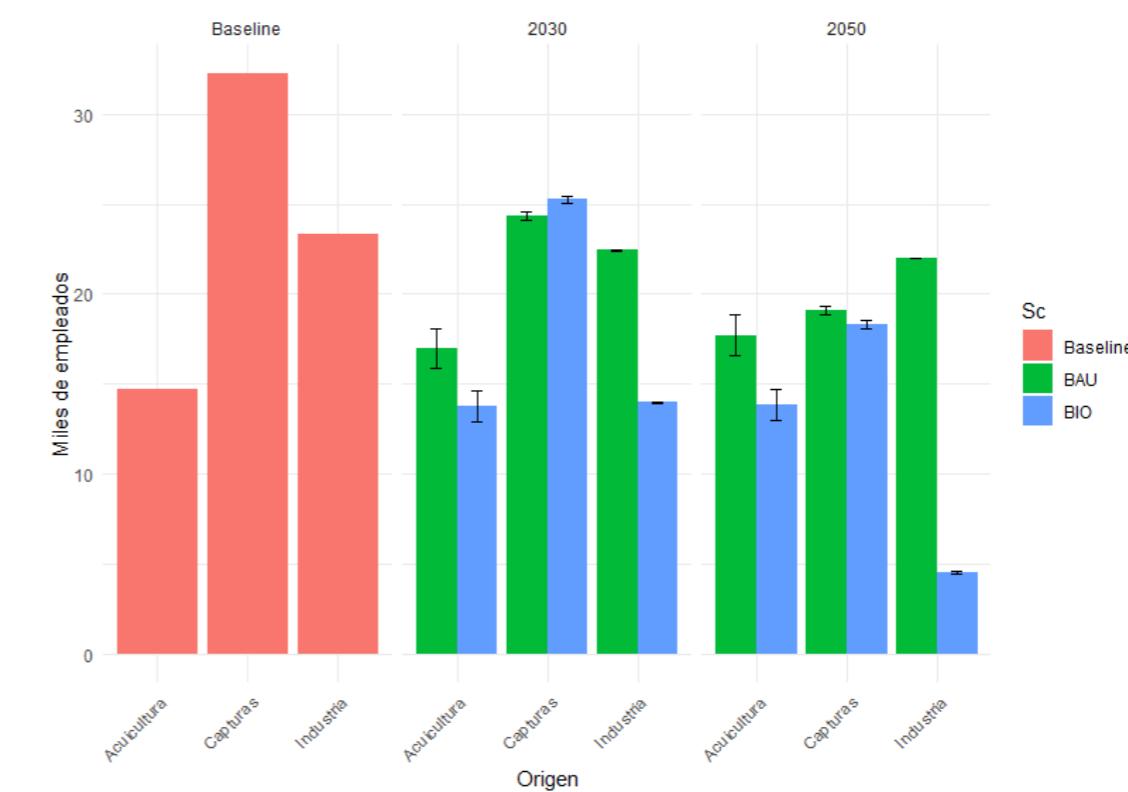


Figura 43
Empleos a tiempo completo totales para la actualidad (baseline), y los modelos BAU y BIO+ para los hitos temporales 2030 y 2050. Se representa la variabilidad mediante bigotes para recoger todos los modelos climáticos estudiados.

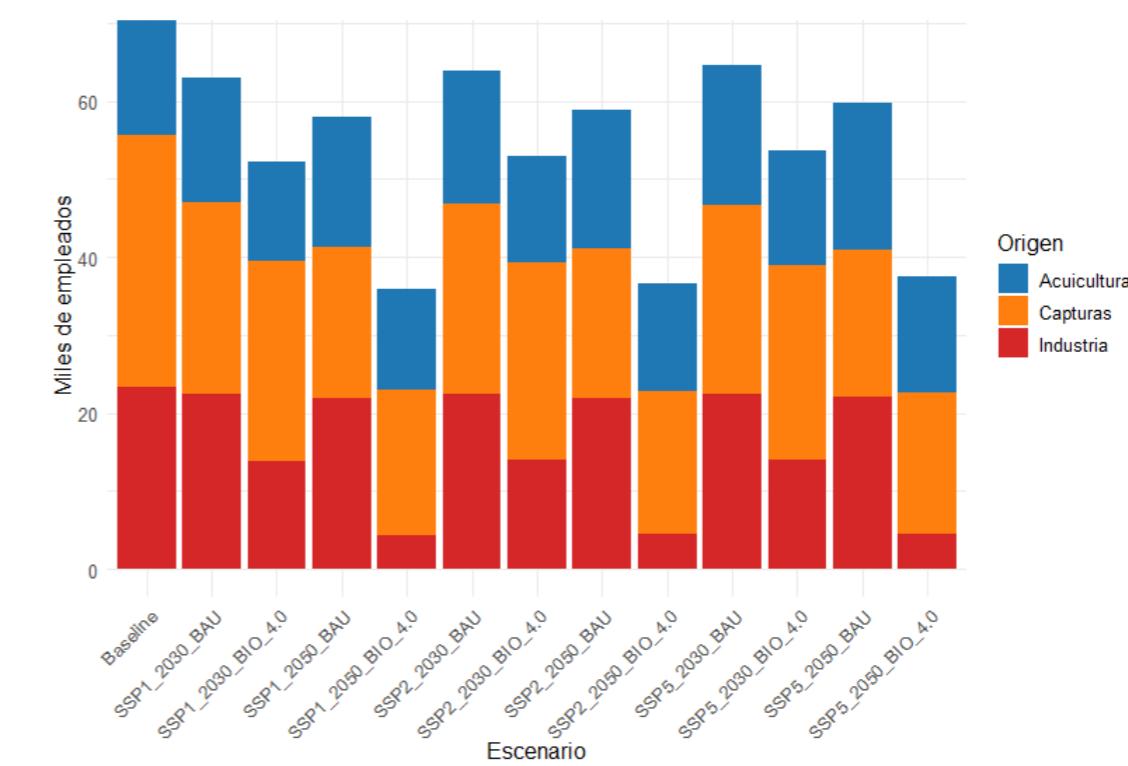


Figura 44
Número de empleados en los sectores pesqueros dependiendo del escenario climático, el hito temporal 2030 y 2050 y el subsector de que se trate.

La diferencia entre modelos radica en la reestructuración de los sectores productivos del sistema acuícola-pesquero. Así, resulta relevante analizar la empleabilidad que se obtiene en términos de empleos por tonelada producida, para comparar la actualidad con los modelos de transición en los hitos temporales (figura 45).

De un lado, en la actualidad observamos que el valor resultante de la productividad del sector acuícola-pesquero en España es de 0,04 empleos/tonelada producida. La acuicultura es el sector que más empleos genera por tonelada hoy en día, con 0,05, seguido del sector pesquero (0,04) y la industria de transformación (0,04). En los modelos de transición propuestos, el único sector que presenta variaciones en cuanto a los empleados por tonelada es el sector pesquero, ya que la proporción de artes de pesca utilizadas es diferente. Los artes de pesca industriales que explotan los océanos hoy en día presentan un bajo ratio de empleados por tonelada capturada, al contrario que los artes de pesca tradicionales, por lo que, al reestructurar la flota, se observan cambios en el ratio global.

El hecho que en el modelo de transición BIO+ sugiera una mayor importancia de artes menores asociada a la actividad pesquera hace que sus empleados por tonelada también aumenten un 18% en 2030, hasta un elevado incremento del 82% en 2050 respecto a la actualidad, mientras que en el modelo BAU, debido a la mayor importancia de la flota industrial, los empleados por tonelada descienden un 6% para 2030 y un 13% para 2050.

De esta manera, aunque el empleo total disminuye en el modelo BIO+, la empleabilidad total del sector (acuicultura, capturas e industria) por tonelada producida aumenta un 10% en el hito 2030, y hasta un 40% en 2050, cosa que no ocurre en el modelo BAU, donde el descenso de la empleabilidad es de -2% para 2030 y -3% para 2050. todo ello propiciado por los cambios estructurales que supondría para el sector pesquero la materialización de los resultados de los modelos.

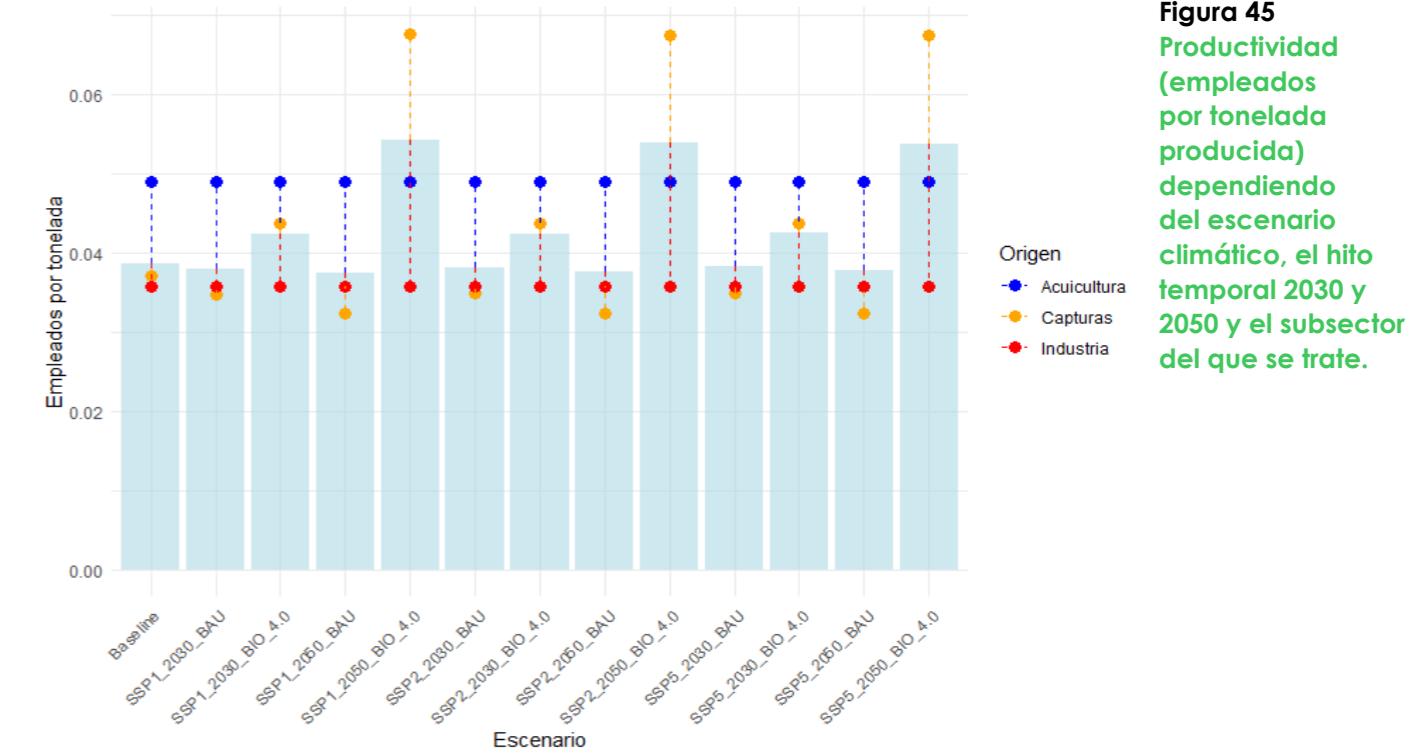


Figura 45
Productividad
(empleados
por tonelada
producida)
dependiendo
del escenario
climático, el hito
temporal 2030 y
2050 y el subsector
del que se trate.

Los datos, de manera combinada (acuicultura, capturas e industria), permiten analizar el impacto en el empleo de los modelos de transición (figura 45). De un lado, los empleos, expresados en personas empleadas a tiempo completo, alcanzan un valor superior a 70.000 personas en España, excluyendo los empleos indirectos asociados a la importación. En el modelo BAU el valor medio (escenario SSP2-RCP4.5) de empleos generados entre modelos climáticos arroja un valor de 63.773 empleos para el 2030 y 58.793 empleos para el 2050, o lo que es lo mismo, un descenso del 9% y 16% respectivamente. En el caso del modelo BIO+ esto supondría un descenso del 25% y 48% para 2030 y 2050 respectivamente.

4.5. Emisiones CO₂eq del sistema en conjunto

4.5.1. Emisiones de la producción agropecuaria

Si consideramos las emisiones de la producción agropecuaria hasta puerta de finca, las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción vegetal asciende a 39,5 millones de toneladas de CO₂eq (figura 46A). Este valor incluye el conjunto de las emisiones directas e indirectas de la producción vegetal en territorio nacional incluyendo, por ejemplo, tanto las emisiones de N₂O del suelo como las emisiones asociadas al transporte y a la producción de insumos como los fertilizantes y el combustible. A esto se sumarían 2,1 millones de toneladas de CO₂eq de pérdidas de carbono orgánico en suelos cultivados, resultando en un total de 41,6 millones de toneladas de CO₂eq asociadas a la producción vegetal.

Para el hito 2050, el modelo BAU arroja un ligero descenso del 10% de las emisiones de la producción vegetal, con un valor total de 35,5 millones de toneladas de CO₂eq, así como un ligero descenso del balance de carbono en suelo de cultivos (-1%, 2,1 millones de toneladas de CO₂eq). Del otro lado, el modelo BIO+ arroja cambios significativos en el perfil de emisiones de la producción vegetal, pasando a presentar emisiones negativas, o lo que es lo mismo, transformando la producción vegetal en un sumidero de carbono, con un valor de -12,1 millones de toneladas de CO₂eq (-124%). De un lado, el conjunto de la producción vegetal reduce sus emisiones un 88%, con un valor de 4,8 millones de toneladas de CO₂eq, mientras que el balance de carbono en suelo de cultivos se convierte en el verdadero sumidero de carbono, principalmente asociado a los manejos agroecológicos implementados en el este modelo, arrojando un valor de -17 millones de toneladas de CO₂eq. Esto supone -895% con respecto a la actualidad, lo que muestra el enorme potencial de las prácticas agroecológicas en este escenario.

En el caso de la producción animal, el valor que se obtiene en la actualidad asciende a 61,7 millones de toneladas de CO₂eq (figura 46B). De éstas, la mayor contribución procede de la producción de piensos (45,3 millones de toneladas de CO₂eq), mientras que las emisiones directas de la cabaña ganadera (que son las contabilizadas como "ganadería" en el inventario Nacional de Emisiones) suponen 17,2 millones de toneladas de CO₂eq. Las emisiones agregadas de industria y transporte asociadas a la producción de piensos resultan muy relevantes desde el punto de vista de las emisiones, arrojando un valor global de 19,1 millones de toneladas de CO₂eq, de las que un 49% es debido al transporte internacional (9,3 millones de toneladas

de CO₂eq), un 34% a las emisiones del transporte en España (6,5 millones de toneladas de CO₂eq) y el 17% restante asociada al procesamiento industrial de los insumos utilizados para la alimentación ganadera (3,3 millones de toneladas de CO₂eq). Le sigue la producción vegetal, que asciende a 24,7 millones de toneladas de CO₂eq, de las que 15,1 millones de toneladas de CO₂eq están asociadas a la producción nacional de piensos y 9,6 millones de toneladas de CO₂eq a la producción de piensos importados. Si consideramos los balances de carbono en suelo observamos que, las emisiones de este balance para la superficie cultivada en España destinada a piensos asciende a 1 millón de toneladas de CO₂eq, mientras que la fracción de la superficie no cultivada utilizada por la cabaña ganadera presenta, para España, un valor de -15,6 millones de toneladas de CO₂eq (lo que se asocia al crecimiento de la vegetación leñosa en pastizales en proceso de abandono), y para las importaciones 13,6 millones de toneladas de CO₂eq (lo que se asocia a la deforestación de selvas tropicales principalmente para la producción de soja). En conjunto, por tanto, la ganadería española genera 27,5 millones de toneladas de CO₂eq en España (45%), y 34,2 millones de toneladas de CO₂eq en el extranjero (55%).

Para el hito 2050 el modelo BAU arroja un valor un 20% superior, ascendiendo a 74 millones de toneladas de CO₂eq. El mantenimiento del tamaño de la cabaña actual mantiene prácticamente constantes el valor de las emisiones directas de la ganadería, tanto en España como en el extranjero, así como la producción industrial, el transporte y la producción vegetal importada. Así, las emisiones directas en España se reducen ligeramente (-2%, 16,9 millones de toneladas de CO₂eq), al igual que las emisiones en el extranjero (-16%, aunque el valor cambie solo 0,2 millones de toneladas de CO₂eq, resultando en 1,4 millones de toneladas de CO₂eq). Del otro lado, la producción vegetal importada en forma de piensos asciende ligeramente (+3%, 9,9 millones de toneladas de CO₂eq) y la industria y el transporte se mantienen prácticamente (18,9 millones de toneladas de CO₂eq). Los cambios más significativos los observamos en las emisiones del balance de carbono en suelos cultivados asociados a la producción animal, lo que muestra un modelo extenuante, arrojando un 16% adicional (1,2 millones de toneladas de CO₂eq). Del mismo modo, el balance de carbono en tierras no cultivadas en el extranjero presenta un incremento del 8% hasta los 14,7 millones de toneladas de CO₂eq, y la capacidad mitigante del balance de carbono en tierras no cultivadas en España, reduce su potencial desde los -15,6 millones de toneladas de CO₂eq en la actualidad a los -25 millones de toneladas de CO₂eq en el 2050 bajo este modelo, lo que supone un 84% menos. Con todo ello, observamos que las emisiones asociadas al territorio nacional se incrementan hasta representar el 52% de las emisiones de la producción ganadera (38,7 millones de toneladas de CO₂eq), con el 48% restante asociado a las emisiones asociadas a la producción ganadera pero vinculada al extranjero (35,3 millones de toneladas de CO₂eq). El modelo de transición BIO+ arroja un valor de emisiones

ganaderas de 14,9 millones de toneladas de CO₂eq para el hito 2050, presentando un descenso del 76% con respecto a las emisiones actuales. De un lado, el factor fundamental que contribuye a este valor son las emisiones directas ganaderas, que presentan un incremento del 46% con respecto a las emisiones actuales (25,1 millones de toneladas de CO₂eq). Este valor tiene su razón en el cambio de la composición de la cabaña ganadera, con una mayor presencia de rumiantes de mediano y gran tamaño (ovino, caprino y bovino), que pasan a alimentarse en la práctica totalidad de pastos, lo que incrementa su actividad digestiva. En cuanto a las emisiones de producción vegetal asociada a piensos, principalmente destinados a la cabaña avícola, las emisiones nacionales descienden un 91% con respecto a la actualidad, con un valor de 1,4 millones de toneladas de CO₂eq. Asimismo, la reducción de la industria de procesamiento de piensos arroja un descenso del 90% (0,3 millones de toneladas de CO₂eq), al igual que del transporte nacional, que desciende un 65% (2,3 millones de toneladas de CO₂eq). El transporte internacional y las emisiones de producción vegetal se eliminan por completo. En lo que se refiere a los balances de carbono, los manejos agroecológicos arrojan un cambio trascendental a la hora de construir verdaderos sumideros de carbono en la superficie cultivada y no cultivada. Así, el balance de carbono en suelo cultivado pasa de ser emisor en la actualidad a ser sumidero, con -3,5 millones de toneladas de CO₂eq (-436% con respecto a la actualidad), mientras que el balance de carbono en tierras no cultivadas en España, principalmente zonas forestales donde se practica la ganadería extensiva, presenta un descenso de su capacidad mitigante (-31%). Este efecto, aunque a priori negativo, queda balanceado con el efecto del balance de carbono importado, que en el escenario actual es de 13,6 millones de toneladas de CO₂eq, pero que en el hito 2050 se elimina. En este sentido, mientras que el cómputo total del balance de carbono en suelos no cultivados, considerando el territorio nacional y la importación, es de -2 millones de toneladas de CO₂eq en el escenario actual, mientras que en el hito 2050 este modelo arroja un valor neto para esta categoría de -10,7 millones de toneladas de CO₂eq.

Si consideramos todas las emisiones del sector agropecuario en su conjunto para el caso de España, el valor actual arroja una suma de 88 millones de toneladas de CO₂eq, de las que la contribución principal procede de los piensos importados, con un valor de 34,2 millones de toneladas de CO₂eq, seguido de las emisiones de la producción vegetal en España, que asciende a 24,4 millones de toneladas de CO₂eq (figura 46C) . Las emisiones de la cabaña ganadera de manera directa supone 17,2 millones de toneladas de CO₂eq, y todo lo relativo a los piensos, incluyendo su procesamiento y transporte, con origen España, asciende a 11,1 millones de toneladas de CO₂eq. Por último, las emisiones asociadas al balance de carbono en suelos cultivados asciende a 1,1 millones de toneladas de CO₂eq.

El hito temporal 2050 arroja, para el modelo de transición BAU, un valor de 97,6 millones de toneladas de CO₂eq, lo que supone un 11% más de emisiones. Este incremento viene asociado principalmente con el incremento de las emisiones de los piensos de origen nacional, que pasan de 11,1 millones de toneladas de CO₂eq en la actualidad a 22,5 millones de toneladas de CO₂eq en 2050 (+103%). Asimismo, las emisiones de los piensos importados presentan un incremento en las emociones del 4%, ascendiendo a 35,5 millones de toneladas de CO₂eq. Del otro lado, las emisiones asociadas a la producción vegetal en España descienden un 10%, pasando a 21,9 millones de toneladas de CO₂eq, mientras que las emisiones del balance de carbono en suelos cultivados desciende un 17%, alcanzando 0,9 millones de toneladas de CO₂eq. Sin embargo, en el modelo de transición BIO+, el balance arrojado por el sector agropecuario se reduce un 95%, resultando en 4,8 millones de toneladas de CO₂eq. Del conjunto de categorías, las emisiones directas de la ganadería son las únicas que se incrementan (+46%, 25,1 millones de toneladas de CO₂eq), mientras que el resto de categorías se reducen drásticamente. Así, la producción vegetal se reduce un 86% (3,4 millones de toneladas de CO₂eq), y las emisiones asociadas a los piensos producidos en España pasan a ser netamente sumideros de carbono, con un descenso del 192% (-10,2 millones de toneladas de CO₂eq). El balance de carbono en suelos cultivados es aquel que presenta mayor cambio, con una reducción trece veces menor, hasta ser un sumidero de carbono (-13,5 millones de toneladas de CO₂eq).

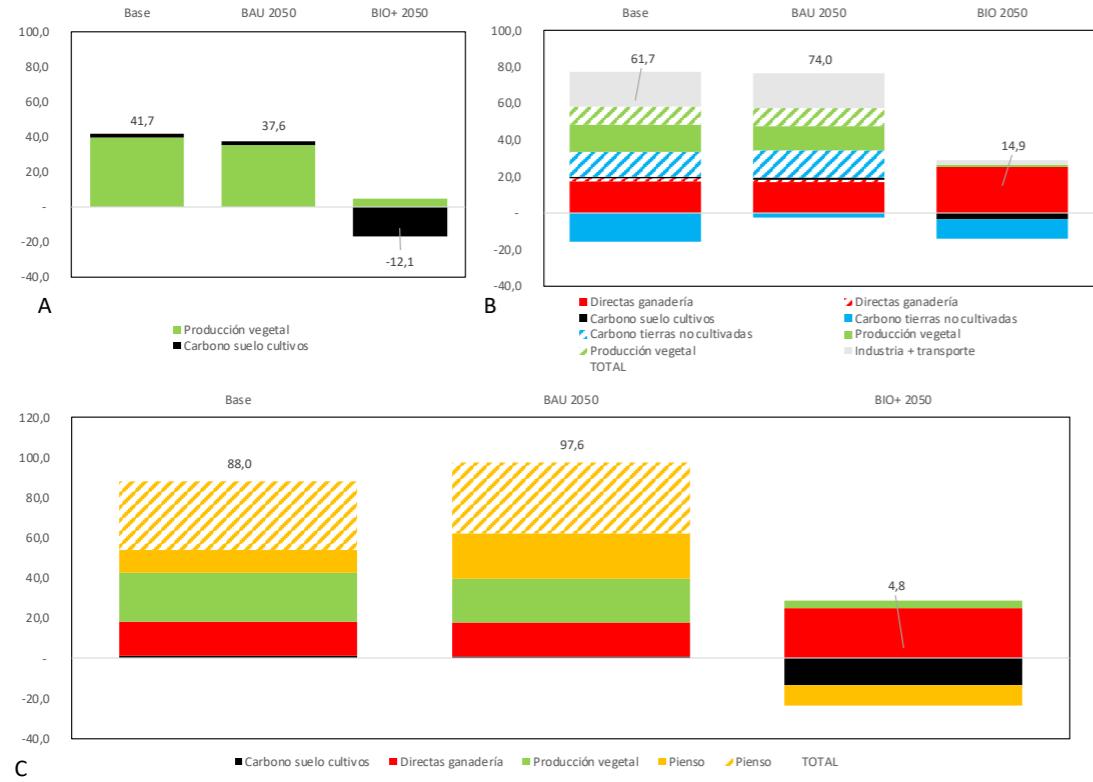


Figura 46
Emisiones de gases de efecto invernadero, medida en CO₂eq, del sector agropecuario en España, considerando todas las emisiones hasta puerta de finca (farmgate). La figura A indica las emisiones vegetales, la B las emisiones animales y la C el conjunto. La figura A y la B representan las emisiones con límites del sistema distintos, por lo que no pueden adicionarse. Producción vegetal incluye el transporte y la producción de los propios insumos para la agricultura. El coloreado mate se refiere a emisiones nacionales y el coloreado rayado se refiere a las importadas. Unidades: millones de toneladas de CO₂eq.

4.5.2. Sector pesquero

Se han estimado las emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂eq) a partir de la reconstrucción de los flujos del sistema acuícola-pesquero descrito con anterioridad, resultando en un valor de 13,1 millones de toneladas de CO₂eq en la actualidad (figura 47). En términos relativos, las emisiones vinculadas a la importación suponen en la actualidad el 36% de las emisiones totales, seguidas de las capturas de la flota española (20%), resultando en 4,8 millones de toneladas de CO₂eq y 2,6 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente. En la fase industrial (envasado y transformación) las emisiones de CO₂eq suponen un 14% y 12% respectivamente, sumando en conjunto 3,3 millones de toneladas de CO₂eq. (incluyendo las transformaciones de los productos importados antes de su llegada a España). También es relevante el transporte vinculado a las importaciones, que asciende a 1,9 millones de toneladas de CO₂eq (15% de las emisiones). Otras partidas menores como el transporte nacional y la acuicultura (0,21 y 0,31 millones de toneladas respectivamente) completan las emisiones hasta el total de 13,1 millones de toneladas de CO₂eq.

En primer lugar, se observa que las proyecciones vinculadas al modelo BAU apenas modifican el valor de emisiones totales, que se sitúa en el entorno de los 13,1 millones de toneladas de CO₂eq, en 2030 y 2050. Del otro lado, el modelo BIO+ efectivamente plantea una reducción drástica de las emisiones, pasando a 6,7 millones de toneladas de CO₂eq en 2030 (49% menos emisiones), y 0,78 millones de toneladas de CO₂eq para 2050 (94% menos de emisiones).

En el caso del modelo BAU, las emisiones asociadas a la acuicultura aumentan un 15% para 2030 y un 20% para 2050, alcanzando

0,36 y 0,38 millones de toneladas respectivamente, mientras que en el caso del modelo BIO+ emisiones descienden drásticamente, con un 57% de descenso con respecto al baseline (0,13 y 0,14 millones de toneladas de CO₂eq para 2030 y 2050). El efecto de la reducción paulatina hasta la eliminación de la acuicultura basada en la utilización de piensos se hace de este modo patente.

En el caso del sector pesquero, observamos que para 2030 y 2050 tendría lugar una caída en las emisiones del 17% y 27% con respecto al baseline en el caso del modelo BAU, reduciendo dicha partida desde las 2,6 millones de toneladas de CO₂eq hasta 2,1 millones de toneladas de CO₂eq en 2030 y 1,9 millones de toneladas en 2050. Asimismo, esta caída en este bloque de emisiones sigue siendo muy inferior a la caída observada en el modelo BIO+, que para 2030 reduce las emisiones de las capturas a 1,4 millones de toneladas de CO₂eq (-46% que en la actualidad), para alcanzar las 0,31 millones de toneladas de CO₂eq en 2050 (-88%). La disminución de las emisiones en el modelo BAU se debe tanto a la tendencia actual como a las predicciones climáticas, sugiriendo ambas una caída generalizada de las capturas. La reducción mucho más drástica en el modelo BIO+ se debe a la eliminación paulatina de los artes de pesca industriales, siendo estos los mayores emisores de CO₂eq.

Esta caída de las capturas en ambos modelos se ve contrarrestada en el modelo BAU mediante la sustitución de importaciones, y precisamente por ello este bloque de emisiones presenta incrementos del 4% para 2030 y del 8% para 2050, alcanzando 4,9 millones de toneladas de CO₂eq y 5,2 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente. Esto viene asociado asimismo a las emisiones vinculadas al transporte internacional, que aumenta en la misma proporción y que pasa de 1,2 millones de toneladas de CO₂eq en la actualidad a 2,1 millones de toneladas de CO₂eq en 2050. El modelo BIO+ restringe las importaciones paulatinamente para eliminarlas en 2050, por lo que dichas emisiones descienden un 51% para 2030 y un 100% en 2050. Este descenso se presenta igualmente en el factor de emisiones asociadas al transporte, que descienden al mismo ritmo.

Las emisiones de la industria de transformación, vinculadas tanto al envasado (1,8 millones de toneladas de CO₂eq en la actualidad) como a la transformación (1,5 millones de toneladas de CO₂eq) presentan cambios en el modelo BAU. Así, las emisiones del envasado se reducen un 1% para 2050, pasando a 1,8 millones de toneladas de CO₂eq, mientras que las asociadas a la transformación se incrementan un 7% para 2030 (1,6 millones de toneladas de CO₂eq) y un 8% para 2050 (1,6 millones de toneladas). El menor grado de transformación y envasado asociado al modelo BIO+ hace que desciendan dichas emisiones, con un descenso de 55% para 2030 y un 92% para 2050 (0,81 y 0,13 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente) en el caso del envasado, y un 37% y 91% para 2030 y 2050 respectivamente (0,95 y 0,14 millones de toneladas de CO₂eq) en el caso de la transformación.

El hecho de contar con mayores flujos de importación en el modelo BAU, y que dicha importación llegue a aquellas provincias con

mayor población, implica que las emisiones del transporte nacional se reducen un 2% para 2030 y un 4% para 2050 (0,2 millones de toneladas), mientras que en el caso del modelo BIO+, la relocalización de las cadenas alimentarias y la dependencia de la acuicultura y las capturas nacionales reduce las emisiones del transporte nacional en un 39% para 2030 (0,13 millones de toneladas de CO₂eq) y un 73% para 2050 (0,05 millones de toneladas de CO₂eq).

Los cambios que previsiblemente ocurrirían en cada modelo de transición analizado también modificarían las contribuciones de las emisiones al total de cada escenario de los hitos temporales. Así, si las emisiones de importación suponen un 36% en la actualidad, en el modelo BAU alcanzan el 38% en 2030 y el 39% para 2050, mientras que en el modelo BIO+ se reducen al 35% en 2030 y a 0% para 2050. En el caso de las capturas, éstas pasan del 20% en la actualidad al 17% en 2030 y al 15% para 2050, mientras que en el modelo BIO+ ascienden para el 2030 al 21% y para el 2050 suponen el 40% de las emisiones. En el caso de la industria de transformación, si contamos el envasado y el procesado de manera agrupada observamos que la contribución de ambas supone el 26% en la actualidad, valor que desciende al 25% para 2030 y se mantiene así en el 2050, mientras que en el modelo BIO+ se mantiene en el 26% actual y en el 2050 asciende al 35%. En el caso de la acuicultura, del 2% actual asciende al 3% en el modelo BAU para 2030 y 2050, mientras que en el modelo BIO+ se mantiene en el 2% para el 2030, pero en el 2050, fruto del descenso del resto de partidas, asciende al 17% de las emisiones totales de este modelo.

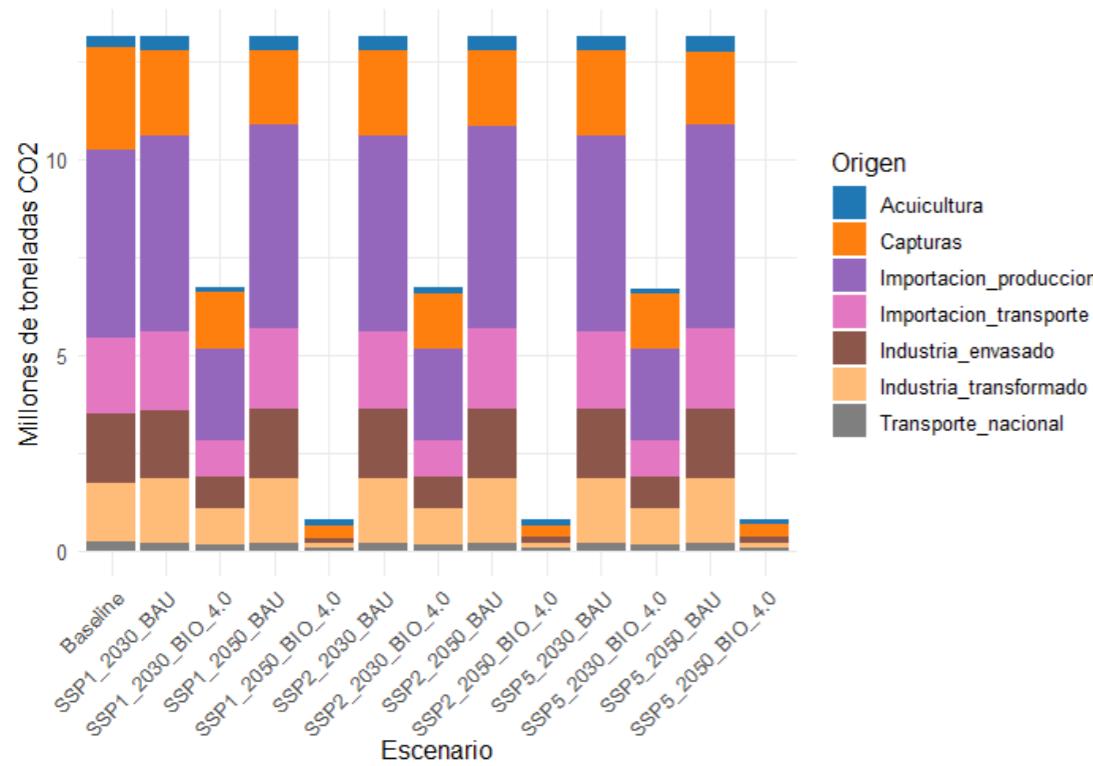


Figura 47
Emisiones totales distribuidas según sector, por escenario climático hito y modelo de transición.

Con todo ello, las emisiones por unidad de producto disponible se estiman en 4,6 KgCO₂eq/kg de producto en la actualidad (figura 48). Este valor aumenta entre un 2 y un 3% dependiendo del escenario climático del que se trate para el hito 2030 en el modelo BAU (entorno a 4,7 kgCO₂eq/kg producto), mientras que en el modelo BIO+ disminuye entre un 5 y un 7% (entorno a 4,3 kgCO₂eq/kg) para ese mismo hito temporal. Las grandes diferencias radican en el hito temporal 2050, ya que en el modelo BAU las emisiones aumentan un 3-4% más con respecto a la actualidad (entorno a 4,8 kgCO₂eq/kg producto) mientras que en el modelo BIO+ este valor desciende un 62% para todos los escenarios climáticos, arrojando un valor de 1,8 kgCO₂eq/kg producto.

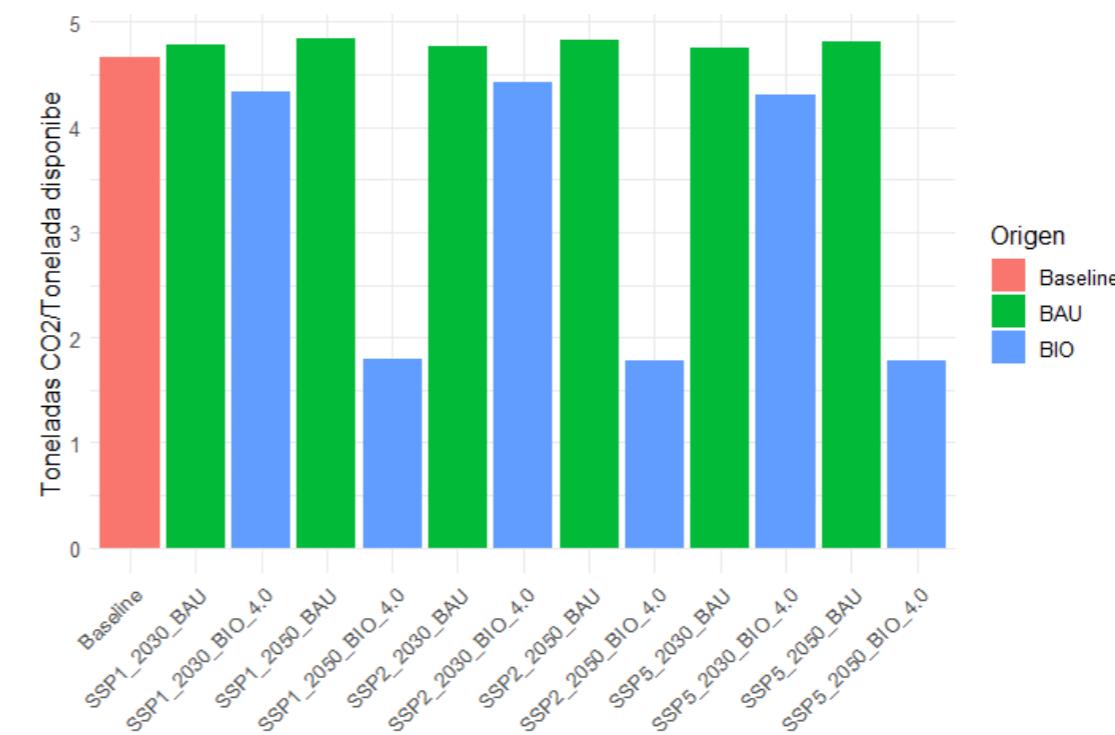


Figura 48
Emisiones de CO₂eq por tonelada disponible para cada modelo de transición (BIO+ y BAU), en cada hito temporal (2030 y 2050) y en cada escenario climático.

4.5.2.1. Emisiones según caladero y arte de pesca

Los diferentes artes de pesca presentan diferencias técnicas y consumo energético diferentes, y su utilización en los caladeros determina las emisiones en cada uno de ellos (figura 49). El caladero no comunitario (o internacional) emite en la actualidad 1,8 millones de toneladas de CO₂eq, seguido por el caladero nacional (0,5 millones de toneladas de CO₂eq) y el caladero comunitario (0,2 millones de toneladas de CO₂eq).

El arrastre es un arte de pesca utilizado ampliamente en los tres caladeros, suponiendo un 81, 49 y un 5% de las emisiones en los caladeros comunitario, nacional y no comunitario respectivamente. En el caladero no comunitario operan también los arrastreros congeladores, emitiendo la cantidad de 0,9 millones de toneladas de CO₂eq, que junto con los cerqueros congeladores (0,6 millones de toneladas de CO₂eq) y el palangre de superficie (0,1 millones de toneladas de CO₂eq).

CO₂eq), suponen un 94% de las emisiones del caladero no comunitario, y un 66% de las emisiones asociadas a las capturas pesqueras.

En el caladero nacional también tiene peso el arte de cerco (0,12 millones de toneladas de CO₂eq), los artes menores (0,07 millones de toneladas de CO₂eq) y los atuneros cañeros (0,06 millones de toneladas de CO₂eq).

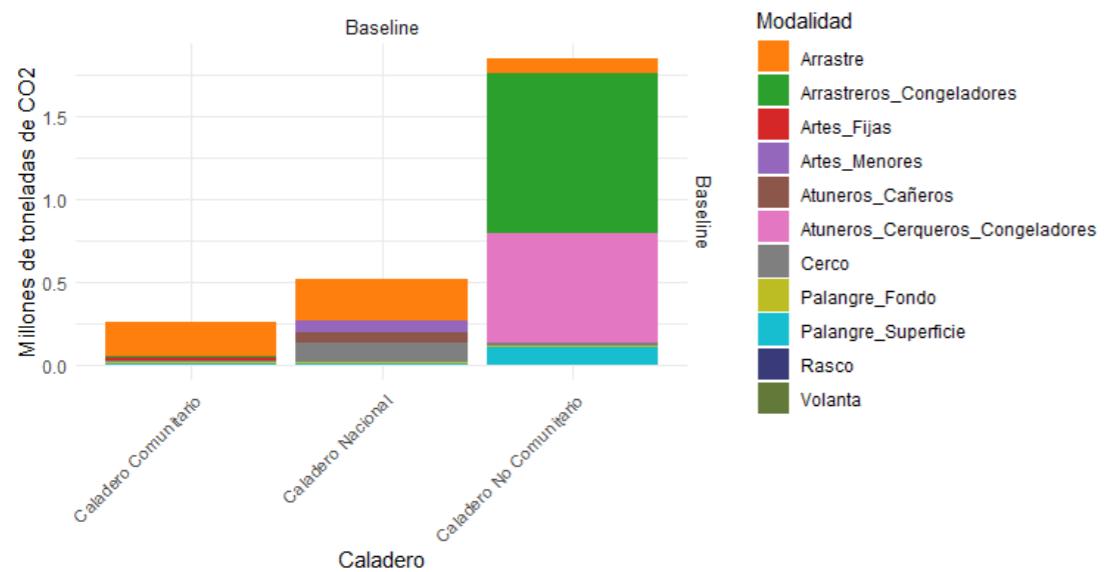
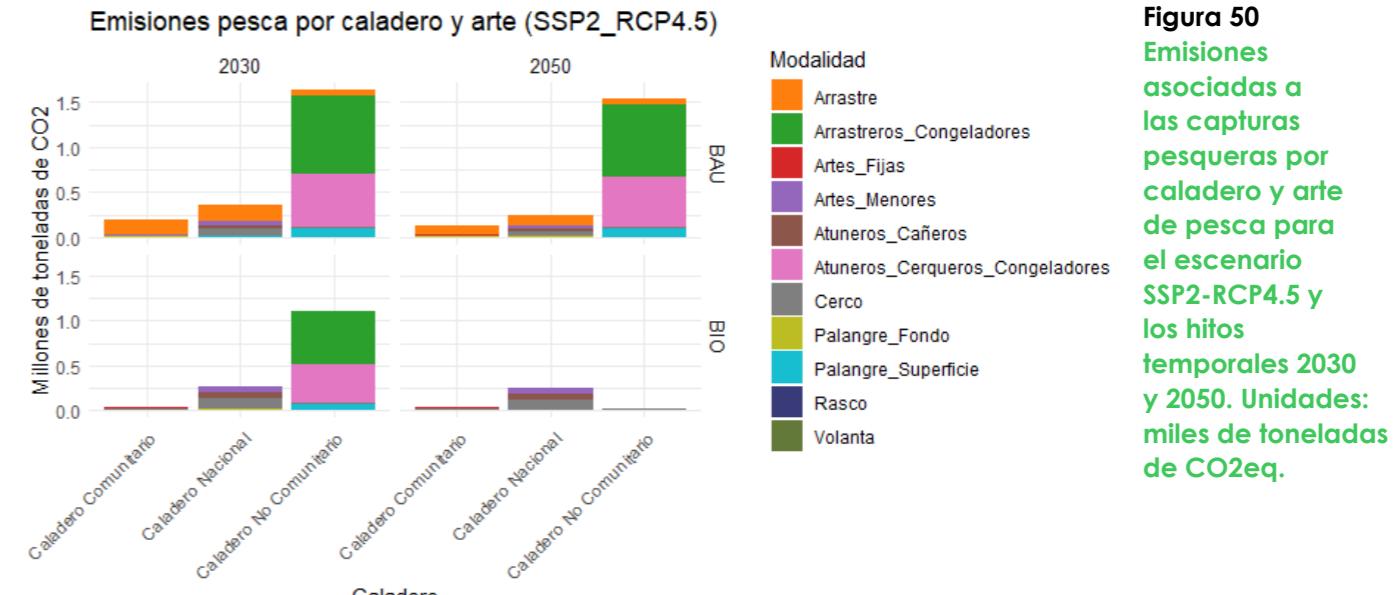


Figura 49
Emisiones asociadas a las capturas pesqueras por caladero y arte de pesca para el Baseline.

En el escenario BAU, las emisiones descienden un 11, 32 y 27% en el caladero no comunitario, nacional y comunitario respectivamente en el hito 2030, y un 17, 54 y 50% en el hito 2050, con lo cual en las emisiones se ve reflejado el descenso en la biomasa capturada en los dos hitos temporales (figura 50). En el BIO+ se darían descensos más acusados, debido a la reducción progresiva de la flota industrial y a la posible reconversión de parte del arrastre en artes menores. El caladero no comunitario alcanza las 1,1 millones de toneladas de CO₂eq en 2030 (-40% respecto al Baseline) y 22.957 toneladas de CO Eq en 2050 (-99%), con la completa eliminación de la flota industrial. Esta eliminación también afecta al caladero comunitario, que emite 42.664 toneladas de CO₂eq en 2030 (-84%) y 37.542 toneladas de CO₂eq en 2050 (-86% respecto al Baseline). Por otra parte está el caladero nacional, donde se ha reconvertido parte del arrastre en artes menores, reflejándose en una menor emisión de CO₂, 266.035 toneladas de CO₂eq en 2030 (-49%) y 0,25 millones de toneladas de CO₂eq en 2050 (-51%).

El escenario BIO+ apuesta por las artes de pesca tradicionales, como el cerco y los artes menores, que son más sostenibles y tienen menos emisiones asociadas, aunque la captura de biomasa se vea bastante reducida en comparación con las artes de pesca industriales.



4.5.3. Flujo de emisiones a lo largo de la cadena alimentaria pesquera de la situación actual

Al igual que se han descrito los flujos de biomasa del sistema acuícola-pesquero (ver figura 51), en este apartado se describen los flujos para esclarecer las emisiones asociadas a cada eslabón de la cadena.

El grupo de especies cuya captura genera mayores emisiones incluyen los peces demersales, con 3,9 millones de toneladas de CO₂eq, representando un 30% de las emisiones totales, además de representar un 22% de las emisiones asociadas a la producción de las importaciones (2 millones de toneladas de CO₂eq) y, consecuentemente, una buena fracción de las emisiones asociadas al transporte internacional. Las técnicas más utilizadas para capturar este tipo de peces son las artes de arrastre. Dentro de este grupo se encuentran, por ejemplo, especies como la merluza, el bacalao o el lenguado, productos consumidos frecuentemente en España.

Los peces demersales (principalmente rodaballo, lenguado, dorada, lubina y corvina) son producidas mediante acuicultura intensiva, con 168.983 toneladas de CO₂eq emitidas (54% del total de acuicultura), convirtiéndose en el grupo que más emisiones asociadas a la acuicultura presenta.

En términos de emisiones de CO₂eq, a los peces demersales le siguen los peces pelágicos, con 2,5 millones de toneladas de CO₂eq, representando el 19% de las emisiones totales, posicionándose como el grupo más capturado por la flota nacional, con 0,7 millones de toneladas de CO₂eq asociadas (28%). También son el grupo con más peso en las emisiones asociadas a la industria de transformación (túnidos y anchoa), tanto nacional como referente a las importaciones, suponiendo un 41 y un 35% respectivamente.

En lo referente a las capturas nacionales, hay otros 3 grupos importantes, cefalópodos, crustáceos y otros animales acuáticos, que

Figura 50
Emisiones asociadas a las capturas pesqueras por caladero y arte de pesca para el escenario SSP2-RCP4.5 y los hitos temporales 2030 y 2050. Unidades: miles de toneladas de CO₂eq.

representan un 19, 10 y 16% de las emisiones asociadas. También son relevantes en las emisiones asociadas a la producción internacional, suponiendo un 15, 10 y 17%. Llaman la atención las emisiones de los crustáceos asociadas al transporte internacional, que alcanzan las 0,35 millones de toneladas de CO₂eq, muchas de ellas vinculadas al transporte aéreo.

Los moluscos, aunque son ampliamente producidos en acuicultura, emiten una huella de carbono reducida en comparación con otros grupos menos cultivados, aún así, la gran producción de mejillón en España hace que las emisiones asociadas a la acuicultura de esta especie lleguen a las 116.222 toneladas de CO₂eq, representando un 37%. En la industria de transformación, en cambio, sí que se hace patente su contribución, suponiendo un 35% del CO₂eq emitido a nivel nacional, y un 18% a nivel internacional o de importación.

Los peces de agua dulce son el segundo grupo con menos emisiones asociadas, aunque tienen cierta relevancia en la acuicultura y captura de importaciones, con 156.415 toneladas de CO₂eq (3%), y, de forma más destacada, en el transporte internacional, con 307.038 toneladas de CO₂eq, representando un 16%. Por último, el grupo de otros peces marinos sólo emite 81.173 toneladas de CO₂eq.

Una mayor utilización de artes de pesca destinadas a la pesca industrial, sumado a una la mayor distancia recorrida para entregar el producto a los canales de distribución, y a la gran cantidad de productos procesados hacen que las emisiones asociadas a la importación prácticamente doblen a las emisiones de CO₂eq. asociadas al ámbito nacional, suponiendo un 66% del total.

El destino con más emisiones de CO₂eq. asociadas es el consumo, con un 65% del total, ya que se consume una mayor cantidad de producto de la que se exporta, además de proceder en gran parte de grupos capturados con técnicas menos selectivas como los peces demersales (40%), o los crustáceos (12%). Los peces pelágicos también son ampliamente consumidos en nuestro país (13% de las emisiones de CO₂eq. asociadas), buena parte en forma de conserva, con las emisiones asociadas equivalentes, al igual que los moluscos (7% de las emisiones asociadas).

La exportación de productos del mar procedente del sector extractivo supone un 2% de las emisiones totales y se compone principalmente de peces pelágicos (32%), el grupo más capturado por la flota nacional, cefalópodos (28%) y otros animales acuáticos (13%), ambos grupos capturados e importados de forma similar, indicando que existe reexportación en varios productos. El volumen exportado de moluscos no se ve reflejado en sus emisiones de CO₂eq. asociadas (6%), gracias a las reducidas emisiones de la producción acuícola.

Por último, las emisiones asociadas a la producción de piensos representan sólo un 6 % de las emisiones totales, con una parte importante que procede del excedente de moluscos (46%) y de peces pelágicos (22%).

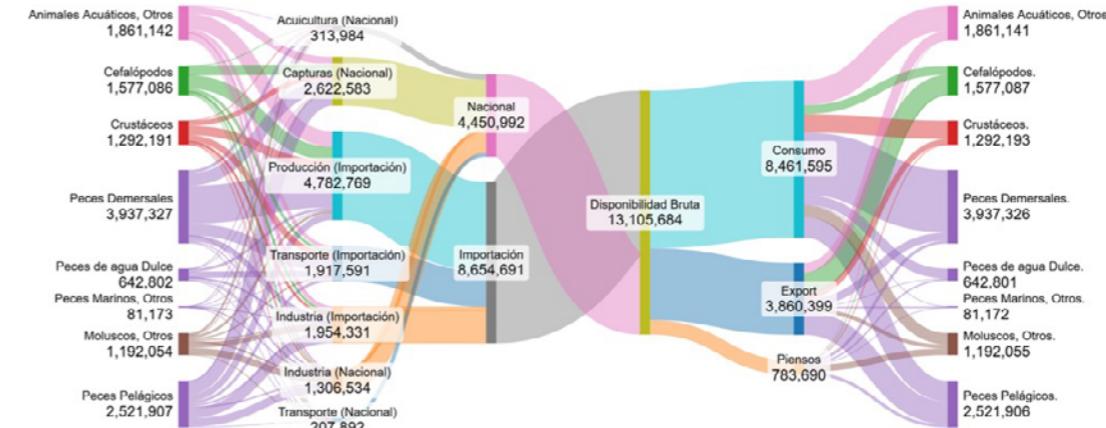


Figura 51
Sankey de las emisiones asociadas a cada eslabón de la cadena alimentaria pesquera para el Baseline.
Unidades: toneladas de CO₂eq.

Emissions en el hito 2030

En el hito 2030, las importaciones aumentan en el BAU según la tendencia observada, con lo cual sus emisiones de CO₂eq. asociadas también experimentan un incremento, hasta sobrepasar ligeramente las 9 millones de toneladas de CO₂eq (4% respecto al Baseline) (figura 52). Esto se ve reflejado en el aumento de las emisiones de CO₂eq. asociadas a todos los grupos con peso en las importaciones, destacando el incremento en otros animales acuáticos (7% respecto al Baseline) y en cefalópodos (14% respecto al Baseline). En el escenario BIO+, en cambio, se reducen a la mitad las importaciones, observándose el consecuente descenso en grupos como los peces demersales (-57% respecto al Baseline) o los cefalópodos (-50%).

Las capturas de la pesca marina, por otra parte, muestran una tendencia descendente en el BAU, reduciéndose hasta los 2,1 millones de toneladas de CO₂eq (-17% respecto al Baseline), ejemplificando esto el grupo de los crustáceos (-21%) y los peces de agua dulce (-40%). En el modelo BIO+, se asume que la pesca industrial se reduce un 30% y el arte de arrastre se elimina, reconvirtiendo parte de la flota en el uso de artes más sostenibles. Estos cambios suponen una reconfiguración del sistema acuícola-pesquero, donde predominan las especies de proximidad y capturadas mediante artes de pesca menos nocivos, con lo cual el grupo de los peces pelágicos pasa a ser el mayor emisor de emisiones de CO₂eq. del sistema acuícola-pesquero, representando un 26% de las emisiones totales.

En el BAU, el sector de la acuicultura sigue una tendencia ascendente, pero al ser un emisor de emisiones de CO₂eq. minoritario, no se advierten grandes efectos en el sistema acuícola-pesquero. La industria de transformación se mantiene, pero sus emisiones de CO₂eq. aumentan ligeramente debido al incremento de transformaciones de productos del mar con mayor huella de carbono. En cuanto al escenario BIO+, se eliminaría la acuicultura asociada a piensos, descendiendo las emisiones de CO₂eq. asociadas un 57% respecto al Baseline. La industria de transformación y sus emisiones también descienden de manera inevitable, por la reducción o ausencia de materia prima.

Las emisiones de CO₂eq. asociadas a los destinos de los productos del mar también sufren cambios en el BAU, descendiendo el

consumo un 2% respecto al Baseline, y aumentando la exportación y los piensos un 5 y un 1% respectivamente. Estos aumentos se deben al gran volumen de reexportación y a la utilización de transformaciones más nocivas para el medio ambiente en la industria de transformación, tales como la propia producción de piensos. En el escenario BIO no se producen piensos y las emisiones asociadas de CO₂eq al consumo y a la exportación se reducen debido a la reducción de las capturas y de la producción de la industria. Sin embargo, las emisiones de CO₂eq del consumo ganan mayor protagonismo (75% frente a 65% en el Baseline), y las emisiones asociadas a las exportaciones se reducen (25% frente a 35% en el Baseline) junto con el resto del comercio internacional de productos del mar.

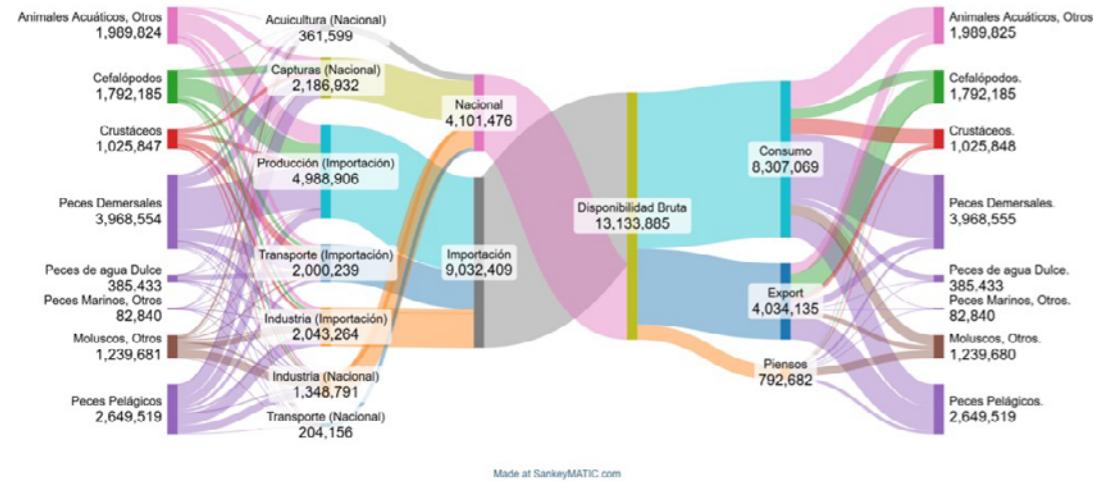
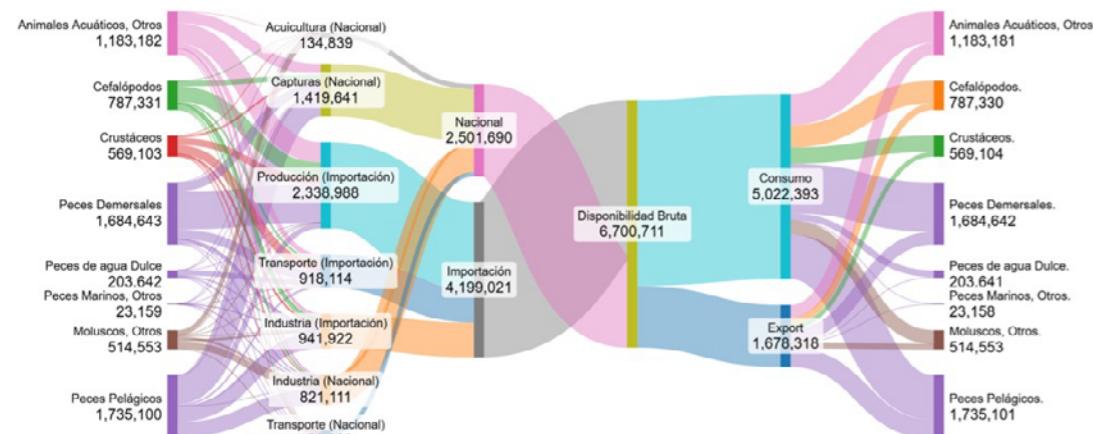


Figura 52
Sankey de las emisiones asociadas a cada eslabón de la cadena alimentaria pesquera para el hito 2030, escenarios BAU y BIO+.



Emisiones en el hito 2050

En el escenario BAU se acentúan las tendencias ya comentadas en el hito 2030, interactuando entre sí, de manera que, aunque las importaciones sigan aumentando, los peces demersales emiten menos CO₂eq (-2% respecto al Baseline) debido a que las capturas también siguen descendiendo (figura 53). Este ejemplo puede aplicarse a cualquiera de los grupos, cuyas emisiones dependen directamente de estas tendencias, en ocasiones opuestas.

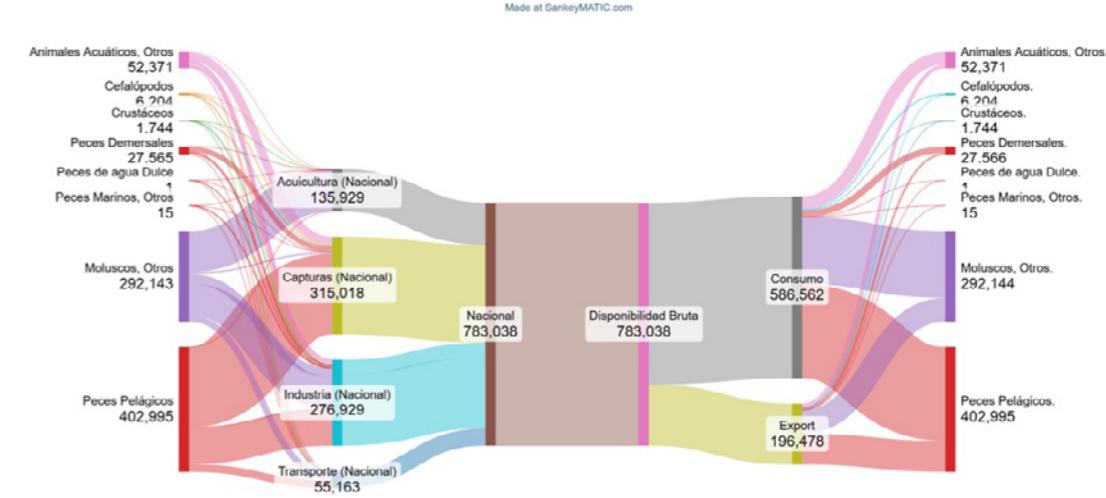
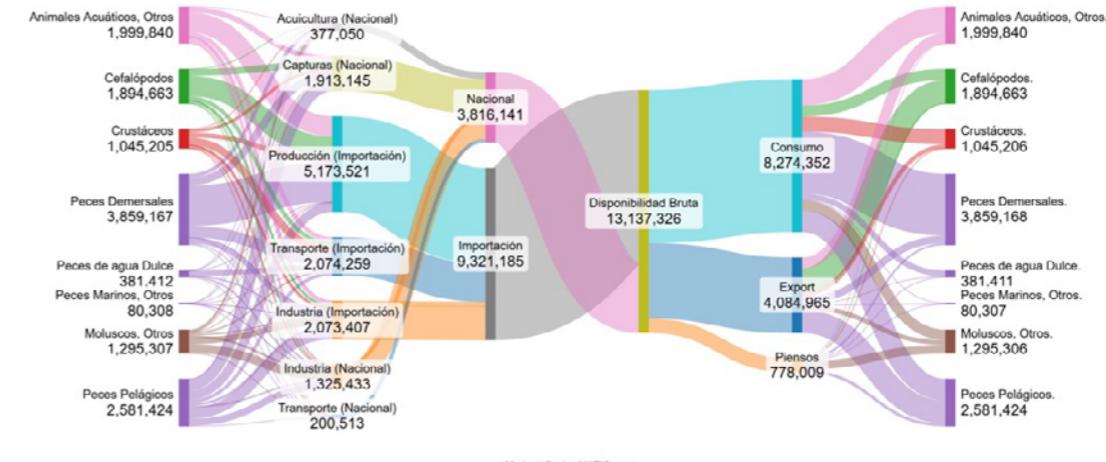


Figura 53
Sankey de las emisiones asociadas a cada eslabón de la cadena alimentaria pesquera para el hito 2050, escenarios BAU y BIO+.

El BIO+, en cambio, sí presenta cambios importantes en este hito del 2050. Las importaciones, la pesca industrial y la acuicultura asociada a piensos desaparecerían por completo, haciendo que las capturas de grupos como los peces de agua dulce u otros peces marinos también se reduzcan notablemente, al igual que sus emisiones de CO₂eq asociadas. La conservación de la pesca de proximidad y la acuicultura hacen que los peces pelágicos y los moluscos cobren mucho más protagonismo, suponiendo un 51 y un 37% de las emisiones totales, que se reducen de manera drástica hasta las 783.038 toneladas (-94% respecto al Baseline). Las emisiones del consumo y las exportaciones se reducen proporcionalmente, manteniendo la misma estructura que en el hito 2030 y nutriéndose casi exclusivamente de los peces pelágicos y los moluscos.

4.6. Impactos de la alimentación en España

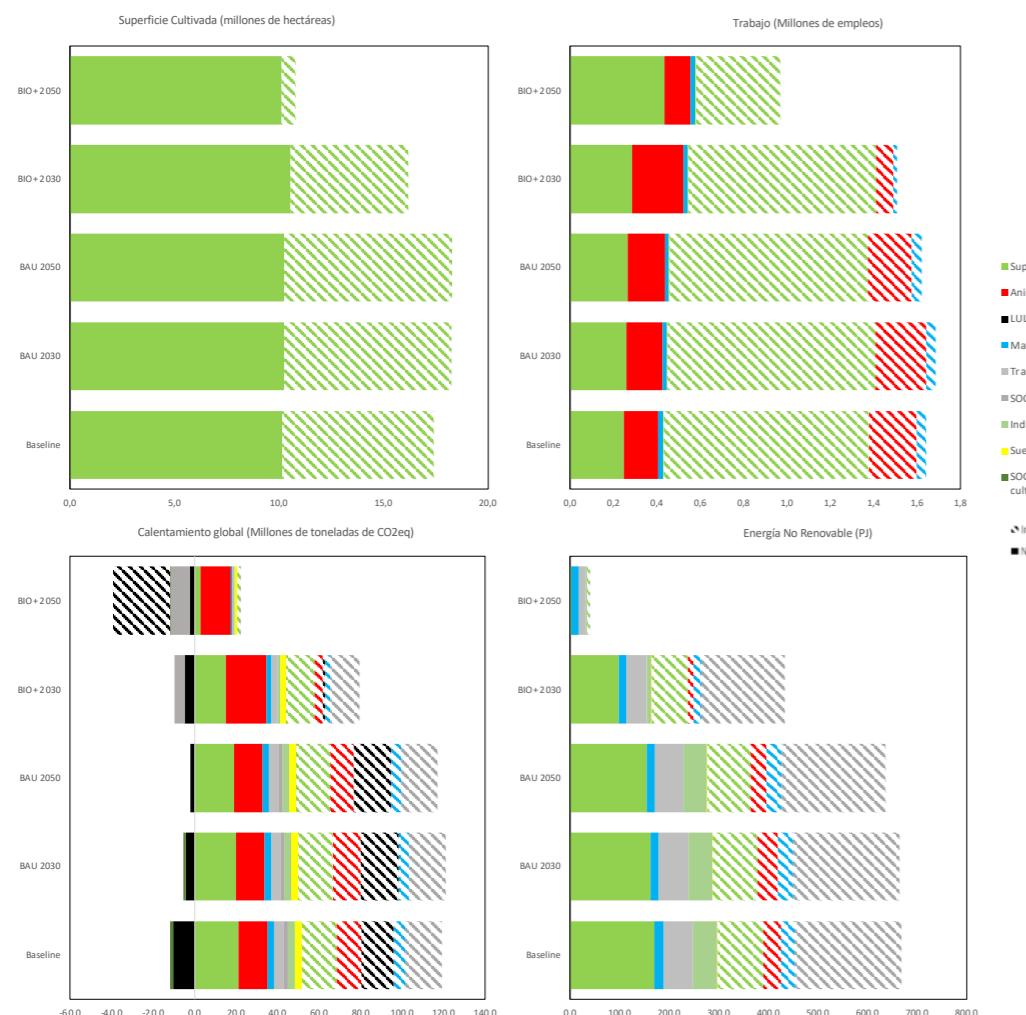


Figura 54
Representación de los impactos asociados a la alimentación en España. Se expresa en Energía no renovable, superficie cultivada, calentamiento global y trabajo, en función de la categoría de emisiones.

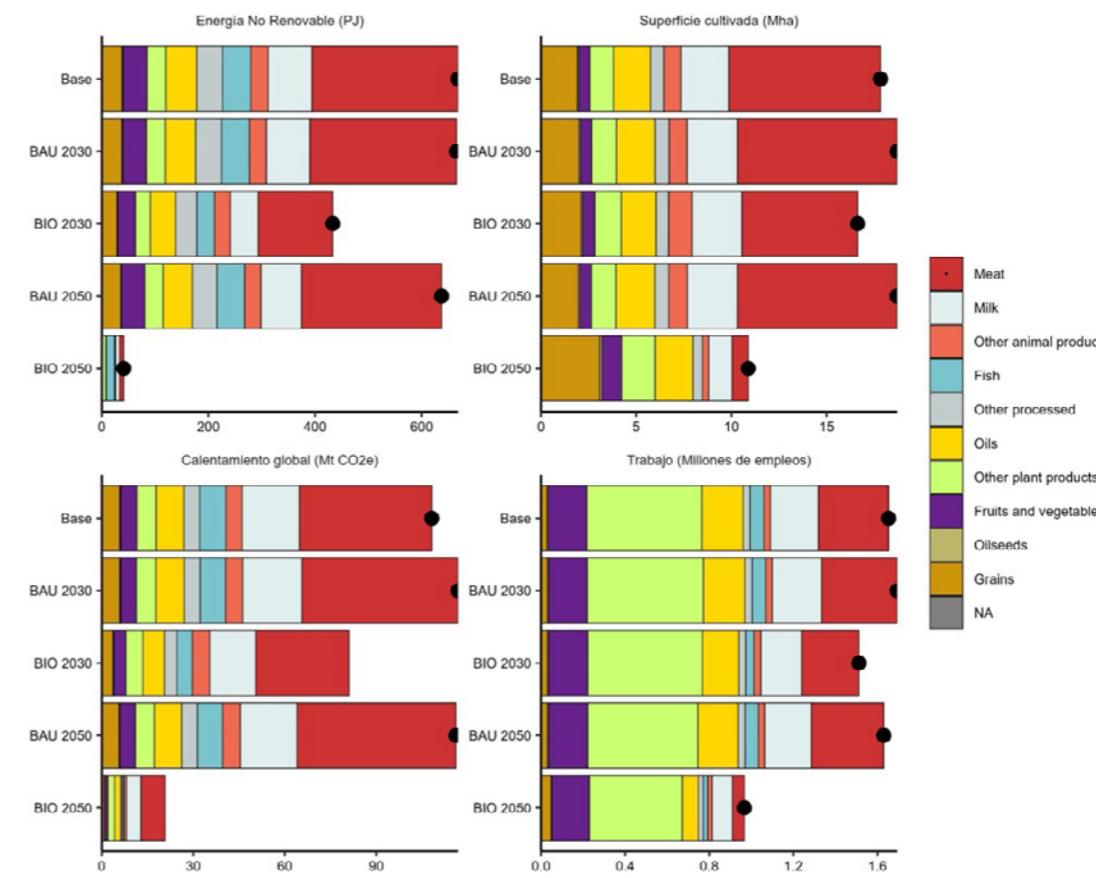


Figura 55
Representación de los impactos asociados a la alimentación en España. Se expresa en Energía no renovable, superficie cultivada, calentamiento global y trabajo, en función de la categoría alimentaria asociada.

Las categorías en las que se expresan las distintas magnitudes son:

- Animal: Emisiones generadas por la actividad ganadera, principalmente por fermentación entérica (metano de la digestión de rumiantes) y gestión del estiércol.
- Cropland: Emisiones derivadas de la producción agrícola en tierras cultivadas, incluyendo el uso de fertilizantes sintéticos, la quema de residuos de cultivos y la gestión del agua en los arrozales.
- Cropland SOC (Soil Organic Carbon): Cambios en el carbono orgánico del suelo en tierras de cultivo debido a prácticas agrícolas, como la labranza, el uso de fertilizantes y la rotación de cultivos.
- Industry: Emisiones procedentes de procesos industriales, y que incorporan las emisiones de las infraestructuras amortizadas, los materiales implicados y el uso de combustible y electricidad en los procesos que liberan gases de efecto invernadero.
- LULUCF (Land Use, Land-Use Change, and Forestry): Balance de emisiones y absorciones de carbono relacionadas con el uso y cambio de uso del suelo, incluida la deforestación, la reforestación y la degradación de tierras.

- Non-Cropland: Emisiones de tierras no destinadas a cultivos, como pastizales y otras áreas naturales utilizadas para la producción agrícola indirecta o la ganadería extensiva.
- Non-Cropland SOC (Soil Organic Carbon): Variaciones en el carbono orgánico del suelo en tierras no cultivadas, como praderas, pastizales y bosques degradados.
- Sea: Emisiones y absorciones de carbono en ecosistemas marinos, incluidos océanos y mares, que actúan como sumideros o fuentes de carbono.
- Transport: Emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles en el transporte terrestre, aéreo y marítimo.

4.6.1. Energía no renovable del consumo alimentario

De un lado, observamos que la Energía No Renovable (ENR) de la dieta en España actual es de 667 PJ de energía (figura 54 y 55). De ella, el 55% (370,5 PJ) está asociada a actividades fuera de las fronteras, principalmente el transporte (32%, 213,8 PJ), y superficie cultivada (14%, 92,5 PJ). En caso de la ENR asociada a las actividades en territorio estatal, la mayor parte de las 297,3 PJ está asociado a la superficie cultivada (25%, 169,6 PJ), seguido del propio transporte intranacional (9%, 59 PJ). En cuanto a las diferentes categorías, la mayor parte de la ENR viene asociada a productos animales, con la carne (274,3 PJ) y los lácteos (81,9 PJ). Mientras que en la carne el 47% de este consumo está asociado a importaciones y el 53% a productos nacionales, en el caso de los lácteos el reparto indica que el 58% está asociado a productos importados y el 42% a la fracción nacional.

En el hito 2030, el modelo BAU arroja cifras de ENR similares a las actuales (665,0 PJ), con un ligero incremento del componente asociado a la ENR importada, que asciende hasta el 57% (377,3 PJ), principalmente por el incremento de la contribución animal importada, que pasa de 35,7 PJ en la actualidad a 41,7 PJ en 2030. Por otro lado, el componente nacional desciende hasta contribuir al 43% de la ENR (287,7 PJ), derivado de un descenso del componente asociado a los cultivos. Estos cambios vienen asociados a un leve incremento de la contribución internacional del uso de ENR en carne, pasando al 50%, mientras que en el caso de la leche se mantiene en el 58%. Para el caso del hito 2050 la distribución relativa de la ENR permanece igual que en el 2030, aunque su ENR desciende ligeramente hasta los 637 PJ, lo que supone un descenso del 5% con respecto a la actualidad.

Por otro lado, el modelo BIO+ sugiere resultados relevantes desde el punto de vista de la ENR. De un lado, para el hito 2030 el descenso en ENR es drástico, con una reducción del 35% con respecto a la actualidad, lo que resulta en 432,9 PJ. Este descenso es principalmente derivado de la reducción de un 27% de la ENR asociada a la

importación y de 45% de reducción asociada a la ENR nacional, lo que suponen 268,7 y 164,2 PJ respectivamente. La reducción más importante está asociada a la ENR de la industria nacional, con un 81% menos de uso de ENR (9,4 PJ), seguido de la ENR asociada a productos animales importados, con un 69% de reducción de ENR (11,2 PJ). Otros descensos relevantes son debidos a la ENR productos marinos importados (48% de descenso, hasta obtener 14,7 PJ), y de superficie cultivada en el estado (42% de descenso, con un valor final de 97,7 PJ). Desde el punto de vista de los productos, en el hito 2030 observamos que de nuevo la carne resulta el producto con mayor uso (140,2 PJ), aunque ésta suponga un 50% menos de uso con respecto al baseline. Asimismo, los lácteos también resultan relevantes entre el conjunto de productos, con un valor de 52,1 PJ, aunque en comparación con la actualidad suponga una reducción del 37%.

Finalmente, el hito 2050 para el modelo BIO+ resulta en una caída drástica en el uso de ENR 94% menor (40,8 PJ), en donde la práctica totalidad de la ENR importada se elimina, quedando solo la asociada a algunos productos importados como el cacao o las especias que no se producen en el estado (6,4 PJ), mientras que para la partida asociada a la ENR nacional se reduce un 88% con respecto a la actualidad, alcanzando 34,4 PJ principalmente debido a la reducción de uso en la superficie cultivada (-99%), la industria (-94%) y otros usos. En este hito temporal, el modelo BAU presenta su mayor más alto en la ENR asociada a productos marinos, que arrojan un valor de 15,9 PJ, aunque esto suponga un 70% menor uso de ENR que en la actualidad.

4.6.2. Superficie cultivada asociada a la alimentación en España

En la actualidad, la superficie cultivada asociada exclusivamente al abastecimiento nacional alcanza las 17,4 millones de ha, de los que 10,2 corresponden a cultivos que tienen lugar en España y 7,3 en el extranjero (figura 54 y 55). Desde el punto de vista de los productos, esta tierra se asocia principalmente a la carne (46%), con 8 millones de ha asociadas, de las que el 43% está asociada a su componente internacional, seguido de la de los lácteos (2,5 millones de ha, de las que el 40% está asociado al extranjero. Le siguen los lácteos, con el 14% de la superficie cultivada (2,5 millones de ha). El mayor nivel de internacionalización en este indicador lo presentan las semillas oleaginosas (100% de su superficie cultivada asociada a importación), los huevos (56%), los aceites (49%) y la carne (43%).

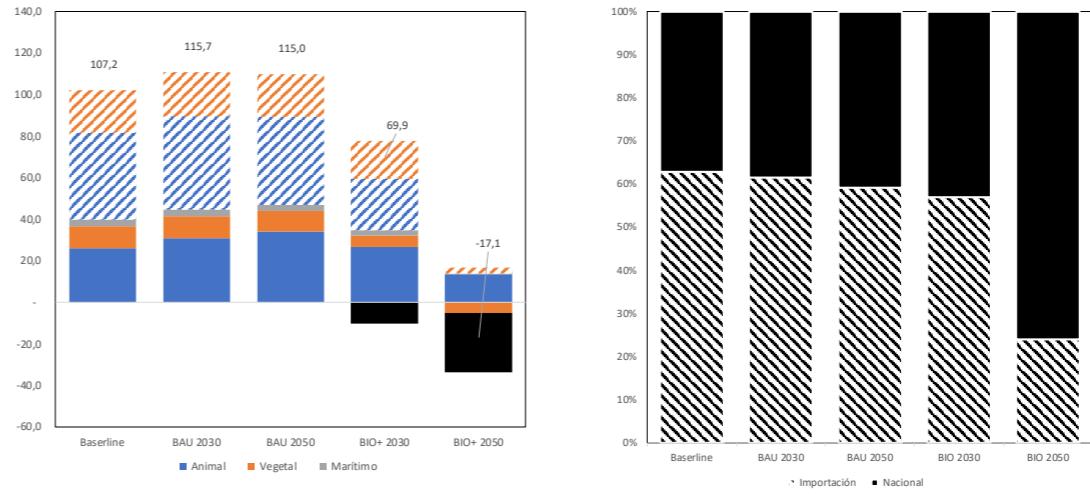
Para el hito 2030 en el modelo BAU esta superficie se incrementa, con mayor apropiación de superficie cultivable a nivel internacional (8,0 millones de ha), lo que supone un 11% adicional con respecto al baseline, pero también con un incremento del 1% en la superficie cultivada en España. En total, para el modelo BAU, esto supone un incremento del 5% de superficie cultivada para el abastecimiento alimentario (18,3 millones de ha). En este caso, la carne y los lácteos

incrementan su componente internacional, desde el 43% al 46% para el caso de la carne y del 40% al 42% en el caso de los lácteos. Si observamos el hito 2050, la superficie cultivada en el modelo BAU presenta un incremento de 0,1 millones de ha adicional en terceros países (8,1 millones de ha), mientras que la superficie cultivada en territorio nacional permanece igual que en la actualidad, en 10,2 millones de ha.

En el modelo BIO+, la superficie cultivada destinada directa e indirectamente para la alimentación en España se reduce un 7% con respecto a la situación actual para 2030, alcanzando 16,2 millones de ha, de las que 5,7 millones de ha están asociadas a terceros países y 10,5 millones de ha a territorio estatal. Esto supone un descenso del 22% de la superficie apropiada a terceros países, mientras que la superficie en España aumenta un 4%. En el hito temporal 2050 observamos un descenso aún más abrupto de superficie cultivada destinada a la alimentación en España, en particular un 38% menor que en la situación actual. Este descenso se realiza principalmente en tierras apropiadas desde terceros países (91% menor), lo que implica reducir la dependencia hasta 0,7 millones de ha en el extranjero. De esta manera, la ocupación de suelo cultivado pasa a ser protagonizada por la producción de aceite (18%), seguida de la producción de cereales (17%), con superficies de 2 y 1,9 millones de ha respectivamente. Le siguen la producción de leguminosas y asociada a la producción láctea, con el 11% cada una (1,2 millones de ha cada una). Al compararlo con la situación actual se observan grandes cambios en la superficie asociada a hortalizas (247% mayor superficie), leguminosas (240% adicional), semillas oleaginosas (396% adicional) o frutales (+145%). Del otro lado, destaca el descenso del 90% de la superficie dedicada a productos cárnicos, del -79% en el caso de los huevos y del 51% inferior en el caso de los productos lácteos.

4.6.3. Emisiones de gases de efecto invernadero asociados a la alimentación en España

4.6.3.1. Emisiones asociados a la alimentación en España
 La estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂eq, ver [anexo metodológico](#)), medidas en millones de toneladas de CO₂eq, indica una estimación de las emisiones y captaciones de gases de efecto invernadero en los distintos escenarios climáticos y modelos de transición.



De un lado, la actualidad arroja un valor de 107,2 millones de toneladas de CO₂eq asociados a la alimentación en España, con sus mayores contribuciones procedentes de las emisiones asociadas a la producción agrícola (35%, 37,9 millones de toneladas de CO₂eq), la actividad ganadera (24%, 25,9 millones de toneladas de CO₂eq) y el transporte (21%, 22,2 millones de toneladas de CO₂eq) (figura 56). Le siguen las emisiones del sector pesquero destinadas a la alimentación en España (8,6 millones de toneladas de CO₂eq), los cambios de uso del suelo (LULUCF, 5,4 millones de toneladas de CO₂eq), y la industria, (3,4 millones de toneladas de CO₂eq). En lo que se refiere a emisiones de la superficie no cultivada, ésta arroja un valor de 3,3 millones de toneladas de CO₂eq. Los valores de balance de carbono en suelos agrícolas asciende a 2 millones de toneladas de CO₂eq, y solo la categoría asociada a las variaciones del SOC en tierras no cultivadas presenta emisiones negativas (-1,4 millones de toneladas de CO₂eq).

Si observamos las emisiones desde un punto de vista geográfico, en la actualidad las emisiones asociadas a actividades realizadas en el extranjero suponen el 63% de las emisiones asociadas a la alimentación (67,3 millones de toneladas de CO₂eq), y 37% a emisiones dentro de las fronteras españolas (39,9 millones de toneladas de CO₂eq). Las emisiones de la actividad ganadera se reparten en un 46% en el extranjero y un 54% en España (12 y 13,9 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente), mientras que en el caso de la superficie cultivada asciende al 44% en el extranjero y el 56% en territorio estatal (16,7 y 21,2 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente). En el caso del transporte, el flujo de importación hace que el 79% de las emisiones se produzcan por el transporte internacional (17,6 millones de toneladas de CO₂eq) y solo un 21% ocurra en España (4,6 millones de toneladas de CO₂eq). El sector acuícola y pesquero se reparte en un 63% de las emisiones asociadas a productos extranjeros (5,4 millones de toneladas de CO₂eq), y el restante 37% por actividades en España (3,2 millones de toneladas de CO₂eq). Adicionalmente, las emisiones industriales principalmente ocurren en España (100%, 3,4 millones de toneladas de CO₂eq). A todo ello hay que añadir las emisiones que solo se dan en territorio nacional, como son las categorías de superficie no cultivada (3,3 millones de to-

Figura 56
Representación de los impactos climáticos asociados a la alimentación en España, expresados en millones de toneladas de CO₂eq (A), y reparto de las emisiones nacionales e internacionales (B).

neladas de CO₂eq) y los balances de carbono en suelo (SOC), dentro de los cuales encontramos el valor de emisiones positivas de las zonas cultivadas (2,0 millones de toneladas de CO₂eq), y el valor de capturas netas negativas del balance de carbono asociado a superficies no cultivadas (-1,4 millones de toneladas de CO₂eq). Por último, mientras que la categoría de cambios en el uso del suelo (LULUCF) presenta valor positivo para el extranjero (15,7 millones de toneladas de CO₂eq), en el caso de España resulta negativo (-10,3 millones de toneladas de CO₂eq).

Si consideramos las emisiones desde una mirada de producto final (figura 56), los productos animales concentran las emisiones, con 67,4 millones de toneladas de CO₂eq (63% de las emisiones), de las cuales el 62% está asociado a emisiones internacionales (41,5 millones de toneladas de CO₂eq), y el 38% restante a emisiones en España (25,8 millones de toneladas de CO₂eq). En el caso de los productos de origen vegetal, asciende al 29% de las emisiones totales (31,3 millones de toneladas de CO₂eq), y se reparten en 65% de las emisiones asociadas a la importación (20,5 millones de toneladas de CO₂eq), y 35% asociado a producción nacional (10,9 millones de toneladas de CO₂eq). En el caso de los productos de origen marino, contemplan el 8% restante (8,6 millones de toneladas de CO₂eq), con el 63% de las emisiones asociadas a productos extranjeros (5,4 millones de toneladas de CO₂eq), y el restante 37% por actividades en España (3,2 millones de toneladas de CO₂eq).

En cuanto a categorías de productos desagregados, la carne es la gran protagonista, con 43,4 millones de toneladas de CO₂eq, seguido de los lácteos, con 18,7 millones de toneladas de CO₂eq. Cabe destacar que en el caso de la carne, el 60% de dichas emisiones se encuentran asociadas al componente internacional, mientras que en el caso de los lácteos asciende al 65%. Le siguen la categoría de aceites (9,1 millones de toneladas de CO₂eq), con el 74% de sus emisiones asociadas al extranjero, y los pescados y mariscos (8,6 millones de toneladas de CO₂eq), con un componente internacional del 63%. Los cereales ascienden a 4,5 millones de toneladas de CO₂eq, con un componente internacional del 52%.

La carne es la protagonista de las emisiones animales (57% de la categoría), de las de la superficie agraria (39%), del balance de carbono en superficie cultivada (35%), de las emisiones industriales (80%), de la superficie no cultivada (87%), y del transporte (42%). En el caso de las emisiones de origen animal, los lácteos siguen a la carne en término de emisiones (40%), mientras que en las emisiones de la superficie cultivada, la producción de aceite asciende al 11% de las emisiones del total de esta categoría, seguido de cereales (10%), y producción láctea (8%). La producción de aceite también destaca en su contribución al balance de carbono en suelos cultivados (28%), seguido de la producción de frutos secos (14%). En la categoría de emisiones industriales, la leche (10%) y los huevos (7%) completan, con la carne mencionada anteriormente, todas las emisiones industriales. Las emisiones de la superficie no cultivada presentan un 8% asociadas a la producción de lácteos y un 5% a otros productos animales.

En la categoría de transporte, los lácteos y los aceites emiten el 14% de las emisiones de esta categoría cada una. Si observamos el valor de las emisiones de CO₂eq asociadas a la alimentación en el modelo BAU para 2030, el valor obtenido es de 115,7 millones de toneladas de CO₂eq, lo que supone un 8% superior a la actualidad. En este valor, el reparto entre las emisiones nacionales e internacionales permanece casi invariable, con el 38% y el 62% respectivamente. En cuanto al reparto de las emisiones entre las distintas categorías, la actividad agrícola supone el 32% de las emisiones (36,7 millones de toneladas de CO₂eq), de las que el 16,8 millones de toneladas de CO₂eq ocurren en el extranjero y 19,9 millones de toneladas de CO₂eq en España. Le siguen las emisiones de origen animal (23%, 27,1 millones de toneladas de CO₂eq), lo que representa un incremento del 5% con respecto a la actualidad, con 13,3 millones de toneladas de CO₂eq asociadas al extranjero y 13,7 millones de toneladas de CO₂eq a la actividad en España. En el caso del transporte no se observan grandes cambios, representando el 19% de las emisiones (22,4 millones de toneladas de CO₂eq), con 17,7 millones de toneladas de CO₂eq debidas a la importación y 4,6 al transporte internacional. Las emisiones del sector marítimo descienden un 3% (8,3 millones de toneladas de CO₂eq), principalmente debido al componente internacional (-6%, 5,1 millones de toneladas de CO₂eq). En la categoría de cambios de uso del suelo (LULUCF) observamos un incremento en las emisiones de un 166%, lo que arroja un valor de 14,3 millones de toneladas de CO₂eq, principalmente debido a que el valor en el extranjero (18,3 millones de toneladas de CO₂eq) es un 17% mayor que en la actualidad, mientras que el valor en España reduce su capacidad mitigante, pasando de -10,3 millones de toneladas de CO₂eq en la actualidad a -4,1 millones de toneladas de CO₂eq en 2030. La contribución de los productos de origen animal asciende al 66% de las emisiones (76,3 millones de toneladas de CO₂eq), los de origen vegetal el 27% (31,3 millones de toneladas de CO₂eq) y los productos marinos el 7% restante (8,3 millones de toneladas de CO₂eq). Para el caso específico de productos, la carne y otros productos animales incrementan sus emisiones un 18% con respecto a la actualidad (51,2 millones de toneladas de CO₂eq y 2 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente), mientras que los cítricos, los frutales y el olivar presentan descensos del 11%, 4% y 4% respectivamente (0,93 millones de toneladas de CO₂eq, 1,7 millones de toneladas de CO₂eq y 0,09 millones de toneladas de CO₂eq).

Para el hito temporal 2050 este modelo continuista arroja un valor 7% superior a la actualidad (115 millones de toneladas de CO₂eq), con una distribución de las emisiones similar al hito 2030. En este caso, en el hito 2050 las emisiones negativas asociadas a las variaciones del SOC en tierras no cultivadas en la actualidad y en el hito 2030 desaparecen, por lo que efectivamente dejan de ocurrir captaciones de carbono, y al contrario, arrojan un valor de 0,10 millones de toneladas de CO₂eq. Los cambios más importantes del modelo BAU suceden en la categoría de los cambios de uso del suelo (LULUCF), que arrojan un incremento del 197% para 2050 (15,9 millones de toneladas de

CO₂eq). Este efecto ocurre por el valor del LULUCF en el extranjero, que resulta en 17,9 millones de toneladas de CO₂eq, un 14% mayor que en el escenario actual, que no puede ser contrarrestado con el valor negativo del LULUCF en España, con un valor de -2,0 millones de toneladas de CO₂eq, lo que supone una reducción del 81% de su capacidad mitigante. De esta manera, las emisiones producidas en España ascienden al 41% mientras que las que se asocian a las importaciones es del 59% restante para este hito temporal. En este horizonte se replica la distribución de las categorías de alimentos, con los animales como protagonistas (66%, 76,3 millones de toneladas de CO₂eq), seguido de los productos vegetales y marítimos (27% y 7%, 30,5 y 8,2 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente). Destaca el caso específico de productos como la carne y otros productos animales, que incrementan sus emisiones un 20% con respecto a la actualidad (52 millones de toneladas de CO₂eq y 2,1 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente).

El modelo BIO+ presenta valores muy distintos del modelo BAU desde el hito temporal 2030. Así, para este primer hito, las emisiones de CO₂ se reducen un 35% con respecto a la situación actual, arrojando un valor de 69,9 millones de toneladas de CO₂eq. La mayor parte de las emisiones recaen en la superficie cultivada, con un valor de 28,6 millones de toneladas de CO₂eq (41%), seguido de la emisiones ganaderas (23,6 millones de toneladas de CO₂eq, 34%) y del transporte (17,3 millones de toneladas de CO₂eq 25%). Cabe destacar que estas tres categorías suponen un descenso significativo con respecto al valor actual, con un 24% menos en el caso de la actividad agrícola, un 9% menos en la actividad ganadera y un 35% menos en el caso del transporte. En el caso del sector marítimo y acuático, se observa un descenso del 42% de las emisiones (5 millones de toneladas de CO₂eq). Para el caso de la industria, se observa un descenso del 71% de las emisiones (1 millones de toneladas de CO₂eq), y en el caso del transporte desciende un 22% (17,3 millones de toneladas de CO₂eq). En cuanto a las categorías de balance de carbono, se observa un descenso de 6,7 millones de toneladas de CO₂eq hasta alcanzar valores negativos para el caso de la superficie cultivada, por lo que esta propia superficie pasaría a ser mitigante del cambio climático con -4,7 millones de toneladas de CO₂eq. Esto contrarresta la pérdida de capacidad mitigante del balance de carbono en suelo de la superficie no cultivada, que pasaría desde -1,4 millones de toneladas de CO₂eq de la actualidad a 0,1 millones de toneladas de CO₂eq en 2030. Para los cambios de uso del suelo (LULUCF), se observa un descenso de 9,2 millones de toneladas de CO₂eq hasta alcanzar un valor de -3,8 millones de toneladas de CO₂eq, implicando que los cambios de uso del suelo promueven la mitigación.

En el caso de las emisiones de la superficie cultivada, se reduce un 18% las emisiones en el extranjero mientras que en España se reducen un 30% (13,7 y 14,9 millones de toneladas de CO₂eq), lo que en cómputo total supone un descenso del 24% de las emisiones de gases de efecto invernadero de esta categoría. Para las emisiones

de origen animal, el componente internacional se reduce un 66% (4 millones de toneladas de CO₂eq) y mientras que el componente nacional se incrementaría un 41% (19,6 TgCO₂eq), lo que resulta en un descenso neto del 9% con respecto a la actualidad. En la categoría del transporte se reduciría un 20% el componente internacional (14,1 millones de toneladas de CO₂eq) y un 30% el componente nacional (3,3 millones de toneladas de CO₂eq), y para los productos marítimos se observan descensos del 52% en el componente internacional y del 24% del componente nacional (2,6 y 2,4 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente). Esto produce un descenso neto en la categoría de transporte del 22% y del 42% para el sector marino. Para la superficie no cultivada, las emisiones se reducirían un 12% (2,9 millones de toneladas de CO₂eq). El caso de los cambios de uso del suelo (LULUCF), el componente internacional desciende un 94%, pasando de 15,7 millones de toneladas de CO₂eq en la actualidad a 1 millones de toneladas de CO₂eq, mientras que en el caso de España, esta categoría reduciría su carácter mitigante desde -10,3 millones de toneladas de CO₂eq en la actualidad a -4,8 millones de toneladas de CO₂eq, aunque persista en su rol de captador de carbono. Mientras que los productos de origen animal se reduce un 24% las emisiones, pasado a 51,3 millones de toneladas de CO₂eq. En el caso de los productos vegetales desciende un 42% (24,1 millones de toneladas de CO₂eq), y en el caso de los productos marinos un 42% (5 millones de toneladas de CO₂eq). En término de productos alimentarios específicos, los cereales reducirían su impacto un 49% (2,3 millones de toneladas de CO₂eq), seguido de los productos marinos (-42%, 5 millones de toneladas de CO₂eq), uvas y olivas, con descensos del 38% y 36% (0,12 millones de toneladas de CO₂eq cada uno), y cítricos (-31%, 0,71 millones de toneladas de CO₂eq).

Para el hito 2050, el modelo BIO+ sugiere emisiones negativas, con un valor de -17,1 millones de toneladas de CO₂eq) (-116% de descenso). Por un lado, la superficie cultivada reduce un 89% las emisiones con respecto a la actualidad, con un valor de 4,3 millones de toneladas de CO₂eq, y la ganadería lo hace en un 43%, hasta alcanzar los 14,7 millones de toneladas de CO₂eq. En el caso de la industria, pasa desde los 3,4 millones de toneladas de CO₂eq actuales a 0,29 millones de toneladas de CO₂eq, lo que supone un descenso del 91%. Un descenso similar ocurre con el transporte, que reduce un 95% sus emisiones desde la actualidad hasta alcanzar las 1,2 millones de toneladas de CO₂eq, y la pesca con un descenso del 93% (0,57 millones de toneladas de CO₂eq). En cuanto a emisiones negativas, el cambio de uso del suelo (LULUCF) supone un valor de -29,9 millones de toneladas de CO₂eq (35,3 millones de toneladas de CO₂eq menos), y el balance de carbono en los suelos agrícolas alcanza -9 millones de toneladas de CO₂eq, lo que supone reducir 11 millones de toneladas de CO₂eq las emisiones para este hito temporal. A ello hay que añadir el valor negativo del balance de carbono en suelo no cultivado, con un valor de -0,34 millones de toneladas de CO₂eq. La superficie no cultivada arroja un valor de 1,1 millones de toneladas de CO₂eq

(-66% con respecto a la actualidad). Resulta relevante destacar la eliminación de las emisiones de origen animal en el extranjero totalmente, lo que supone un ahorro de 12 millones de toneladas de CO₂eq asociadas a las importaciones, algo que se contrarresta con un ligero incremento de las emisiones ganaderas en España (+6%), resultando en 14,7 millones de toneladas de CO₂eq. En el caso de las emisiones asociadas a la superficie cultivada, resulta relevante la reducción del 90% de las emisiones asociadas a la importación (1,6 millones de toneladas de CO₂eq), y la eliminación completa de las emisiones marítimas asociadas a este flujo comercial. Los cambios de uso del suelo en el extranjero pasan a ser potenciales mitigantes, con -27,5 millones de toneladas de CO₂eq, lo que supone un descenso de 43,2 millones de toneladas de CO₂eq desde la actualidad. Por categorías de alimentos, aquellos de origen animal presentan un descenso neto del 80% en la actualidad (13,3 millones de toneladas de CO₂eq), para el caso de productos vegetales suponen presentar un rol mitigante reduciendo sus emisiones hasta las -2,4 millones de toneladas de CO₂eq (lo que reduciría 108% las emisiones), y en el caso de productos de origen marino supone un descenso del 93% de las emisiones (0,57 millones de toneladas de CO₂eq). A ello hay que añadir el potencial mitigante del abandono LULUCF, que implica -28,5 millones de toneladas de CO₂eq. En el caso de los productos alimentarios cárnicos, reducirían su huella un 82% (7,9 millones de toneladas de CO₂eq), y la leche y otros productos animales lo harían con reducciones de -75% y -52% respectivamente (4,7 y 0,8 millones de toneladas de CO₂eq respectivamente). Varios de los productos de origen vegetal adquieren valores netamente negativos, llegando a ser productos que contribuyen a mitigar el cambio climático. Ese es el caso de las aceitunas (-0,08 millones de toneladas de CO₂eq), los tubérculos (-0,17 millones de toneladas de CO₂eq), los frutos secos (-0,33 millones de toneladas de CO₂eq), las hortalizas (-0,36 millones de toneladas de CO₂eq), los cítricos (-0,32 millones de toneladas de CO₂eq) y los cereales (-1,2 millones de toneladas de CO₂eq), lo que suponen descensos drásticos de entre -116% (como en el caso de los frutos secos y hortalizas), hasta las olivas y uvas (-160%).

4.6.3.2. Emisiones asociadas al desperdicio alimentario en España

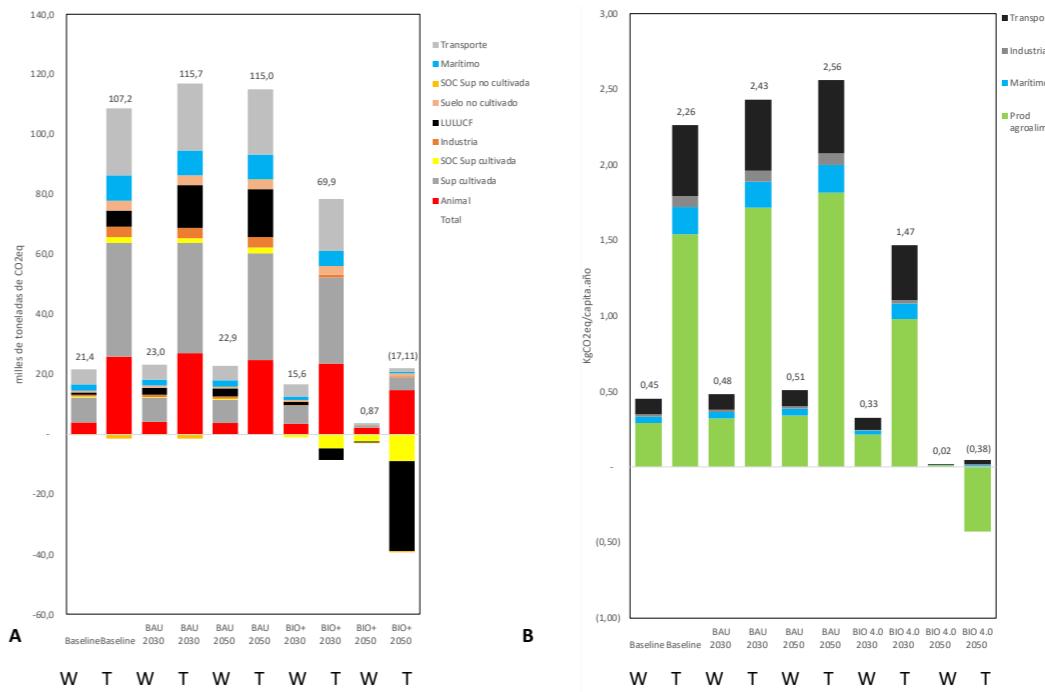
Las emisiones asociadas al escenario actual en lo que se refiere al desperdicio alimentario ascienden a 21,4 millones de toneladas de CO₂eq, principalmente asociadas a los productos cárnicos, los aceites y los productos pesqueros (8,5, 2,9 y 2,1 millones de toneladas respectivamente). Esto supone el 20% de las emisiones totales del consumo en España. En términos de categorías de emisiones, la fracción más relevante es la asociada a la superficie cultivada, con 8,3 millones de toneladas de CO₂eq, seguida de las emisiones asociadas a los animales (3,9 millones de toneladas de CO₂eq), y los productos del mar (2,1 millones de toneladas de CO₂eq). Asimismo, el transporte supone

4,9 millones de toneladas de CO₂eq en su conjunto y la industria 0,6 millones de toneladas de CO₂eq. La superficie no cultivada presenta emisiones que ascienden a 0,6 millones de toneladas de CO₂eq. El balance de carbono en suelo presenta, en la superficie cultivada, un valor de 0,4 millones de toneladas de CO₂eq, mientras que en la superficie no cultivada actúa como sumidero, con -0,3 millones de toneladas de CO₂eq. Por último la categoría de cambios de uso del suelo arroja un valor de 0,8 millones de toneladas de CO₂eq. Con todo ello, el valor de emisiones del desperdicio alimentario en la actualidad asciende a 0,45 kgCO₂eq/capita.año, principalmente debido a la producción agropecuaria (64% de estas emisiones), al transporte (23%) a los productos del mar (10%) y en menor medida a la industria (3%).

En el modelo de transición BAU observamos que, para 2030, las emisiones asociadas al desperdicio supondrán 23 millones de toneladas de CO₂eq, lo que supone el 20% de las emisiones totales y un 7% adicional con respecto al escenario actual. En este sentido, categorías de alimentos tan relevantes como la carne y otros productos animales incrementan un 18% las emisiones de sus desperdicios alimentarios. En términos de categorías de emisiones obtenemos un incremento significativo de los cambios de uso del suelo, con un 221% de incremento para 2030 (2,5 millones de toneladas de CO₂eq), al igual que en las emisiones de la cabaña, que se incrementan un 6% (4,1 millones de toneladas de CO₂eq). Del otro lado, categorías como el balance de carbono en suelos no cultivados, desciende un 5%, lo que supone la pérdida de actuación de sumidero de carbono. El valor de emisiones del desperdicio alimentario en el hito 2030 para este modelo de transición asciende a 0,48 kgCO₂eq/capita.año, principalmente debido a la producción agropecuaria (67% de estas emisiones), al transporte (21%) a los productos del mar (9%) y en menor medida a la industria (3%). Esta pérdida se agudiza en el hito 2050, donde ninguna de las categorías de emisiones actúa como sumideros de carbono, manteniendo el valor en la línea del hito 2030 (22,9 millones de toneladas de CO₂eq), con un reparto de las emisiones similar. Con todo ello, el valor de emisiones del desperdicio alimentario para 2050 ascendería a 0,51 kgCO₂eq/capita.año, principalmente debido a la producción agropecuaria (67% de estas emisiones), al transporte (21%) a los productos del mar (9%) y en menor medida a la industria (3%).

Del otro lado, las emisiones asociadas al desperdicio alimentario en el modelo de transición BIO+ para 2030 arroja un descenso del 27% con respecto a la actualidad, lo que supone, 15,6 millones de toneladas de CO₂eq. De estas, cabe destacar el descenso en las emisiones del desperdicio relacionado con los productos cárnicos (-30%, 6 millones de toneladas de CO₂eq), de los cereales (-49%, 0,7 millones de toneladas de CO₂eq), o de los aceites (-23%, 2,3 millones de toneladas de CO₂eq). En cuanto a categorías de emisiones, todas las categorías menos los cambios de uso del suelo (LULUCF, 1,1 millones de toneladas de CO₂eq) arrojan descensos con respecto a la actualidad. Así, las emisiones del desperdicio asociado a la cabaña ganadera descienden un 11% (3,5 millones de toneladas de CO₂eq), las de

la superficie cultivada un -27% (6,1 millones de toneladas de CO₂eq), la industria un -71% (0,2 millones de toneladas de CO₂eq). En el caso del desperdicio de los productos del mar, se reduce un -42% (1,2 millones de toneladas de CO₂eq), las asociadas al transporte un -19% (4 millones de toneladas de CO₂eq) y las emisiones en superficie no cultivada vinculada a la alimentación un -15% (0,5 millones de toneladas de CO₂eq). El desperdicio alimentario vinculado al balance de carbono en suelo cultivado arroja un descenso muy relevante, convirtiéndose en sumidero de carbono (-1,1 millones de toneladas de CO₂eq). Así, el valor de emisiones del desperdicio alimentario en este modelo de transición para 2030 desciende hasta a 0,33 kgCO₂eq/cápita.año, principalmente debido a la producción agropecuaria (65% de estas emisiones), al transporte (26%) a los productos del mar (8%) y en menor medida a la industria (1%). Esto supone un 28% inferior que en el escenario actual. Esta dinámica de transformación hacia el sistema alimentario como sumidero de carbono también se refleja en el desperdicio alimentario, ya que para 2050 las emisiones del desperdicio alimentario suponen 0,87 millones de toneladas de CO₂eq (-96% con respecto a la actualidad). Así, mientras que el desperdicio de los productos animales se reduciría un 42% (2,3 millones de toneladas de CO₂eq), en el caso del vinculado a la superficie cultivada se reduce un 90% (0,82 millones de toneladas de CO₂eq). El desperdicio asociado al transporte arroja un valor de 0,16 millones de toneladas de CO₂eq, un 97% inferior a la actualidad, mientras que los productos del mar presentan un descenso en las emisiones de su desperdicio del 93% (0,14 millones de toneladas de CO₂eq). El desperdicio asociado a la superficie no cultivada presenta descensos del 72% (0,17 millones de toneladas de CO₂eq) y en la industria de 93% (0,04 millones de toneladas de CO₂eq). Los dos balances de carbono arrojan descensos más de 7 veces inferiores para el caso de la superficie cultivada (-2,42 millones de toneladas de CO₂eq), mientras que en el caso del desperdicio relacionado con el balance de carbono de la superficie no cultivada es del -75% (-0,07 millones de toneladas de CO₂eq). Por último, el desperdicio asociado a la categoría de cambio de uso del suelo (LULUCF) supone un sumidero de carbono, con -0,25 millones de toneladas de CO₂eq. Por tanto, el valor de emisiones del desperdicio alimentario para 2050 en este modelo BIO+ se reduce drásticamente hasta los 0,02 kgCO₂eq/cápita.año, principalmente debido a la producción agropecuaria (60% de estas emisiones), al transporte (19%) a los productos del mar (16%) y en menor medida a la industria (5%). Esto supone un descenso del 96% de las emisiones del desperdicio alimentario per capita.



4.6.4. Empleo asociado a la alimentación en España

La estimación total del empleo asociado a la alimentación en España asciende en la actualidad a 1,64 millones de personas, de las que solo 0,43 se encuentran asociados a empleos en territorio nacional (figura 54 y 55). Este dato incluye el empleo asociado a la actividad agrícola (0,25 millones de empleos), la actividad ganadera (0,16 millones de empleos) y la actividad pesquera (0,02 millones de empleos). El hecho de depender de manera importante de flujos de importación para abastecer al sector de la alimentación hace que existan cerca de 1,21 millones de empleos en terceros países, sobre todo vinculados a la actividad agrícola (0,92 millones de empleos), la actividad ganadera (0,22 millones de empleos) y la actividad pesquera (0,04 millones de empleos). De esta manera, el 74% del total de empleos relacionados con la alimentación en España en el sector primario se sitúa en terceros países. En cuanto a las categorías de producto, destacan las especias y los productos cárnicos como principales empleadores, con 0,44 y 0,33 millones de empleos. Mientras que en las especias, casi el 100% del empleo se genera en el extranjero, en el caso de la carne es el 47%.

Siguiendo las proyecciones del modelo BAU en el hito temporal 2030, se podría esperar un ligero ascenso del empleo del 3%, lo que supone una cifra total de 1,69 millones de empleos. Este incremento viene asociado al incremento de la actividad ganadera y pesquera en terceros países del 7% y 5% respectivamente, llegando a 0,24 y 0,05 millones de empleos. Asimismo, se localiza un incremento en el empleo asociado a la actividad ganadera y agrícola en España, con incrementos del 6% y 5% respectivamente, alcanzando 0,17 y 0,26 millones de empleos. Por el contrario, la actividad pesquera desciende un 13% en 2030. Esto hace un total de 1,69 millones de empleos. Sin embargo, el cambio en el hito 2050 para este modelo de transición

cambia la tendencia del 2030, ya que se prevé un descenso del 1% del empleo, resultando en 1,62 millones de empleos. En este hito temporal se prevé un descenso del 4% del empleo asociado a terceros países reduciéndose a 1,17 millones de empleos, mientras que el empleo nacional se incrementa un 6% con respecto al *baseline*, con 0,46 millones de empleos. Del empleo internacional, se prevén descensos del 8% de la actividad ganadera y del 3% de la actividad agrícola en terceros países, con valores finales de 0,20 y 0,92 millones de empleos. Para el empleo nacional, se estima un incremento de la actividad ganadera de un 10% (0,17 millones de empleos), y del 7% para la actividad agrícola (0,27 millones de empleos), mientras que la actividad pesquera sufrirá una caída del 29% del empleo.

En el caso del modelo BIO+, la previsión para el hito 2030 sugiere una reducción en términos de empleo total del 8%, resultando en 1,51 millones de empleos. Esta caída se produce principalmente en terceros países, con una reducción del 20% del empleo (0,96 millones de empleos), mientras que el empleo en España crecerá un 27% para este mismo hito temporal (0,55 millones de personas). En el caso del empleo en terceros países, la actividad ganadera desciende un 64% con respecto a la situación actual (0,08 millones de empleos), la actividad agrícola un 9% (0,86 millones de empleos) y la actividad pesquera un 58% (0,02 millones de empleos). Para el estado español, la actividad ganadera crecería un 50% (0,24 millones de empleos), y la actividad agrícola un 15% (0,29 millones de empleos), mientras que la actividad pesquera descendería un 8% (0,02 millones de empleos). En el caso del hito temporal 2050, el modelo BIO+ arroja valores de relocalización intensa del empleo en España, con un valor total de 0,97 millones de empleos. Así, mientras el empleo internacional cae un 68% con respecto al *baseline* (0,39 millones de empleos), el empleo en España crecería un 35% (0,58 millones de empleos). El empleo internacional de la actividad pesquera y ganadera desaparecería, mientras que la actividad agrícola descendería un 59% procedente de terceros países (0,39 millones de empleos). En el caso del empleo en España, se estima un descenso de la actividad ganadera del 22% con respecto a la actualidad (0,12 millones de empleos), mientras que la actividad agrícola arroja un incremento del 75% del empleo (0,43 millones de empleos). En el caso de la pesca, el empleo descenderá un 8%. El resultado final es que, mientras en la actualidad el 74% del empleo se encuentra en terceros países, en el modelo BIO+ tenemos que un 40% sería internacional para el hito 2050.

5. DISCUSIÓN

5.1. El sector agrícola y ganadero

5.1.1. Los usos del suelo

La agricultura española constituye una actividad económica aún importante, puesto que aporta el 2,34% del PIB y el 3,5% del empleo (2023), aunque lejos de sectores como el turismo. Sin embargo, es la base del sector agroalimentario que aportó 119.140 millones de euros en el ejercicio 2023, el 8,9 % del PIB total de la economía española, el 11,3 del empleo (Cajamar, 2023) y manejó el 51% del territorio, prestando servicios ecosistémicos absolutamente imprescindibles para la habitabilidad del país y la conservación del medio ambiente. Pero, el sector agrario se encuentra en una encrucijada, enfrentado a la emergencia climática y a la crisis irreversible del modelo industrial que ha predominado en las últimas décadas. Un modelo que ha demostrado su incapacidad para proporcionar un ingreso suficiente a los agricultores y, al mismo tiempo, mantener y conservar en buen estado la base de los recursos naturales sobre la que se asienta. En las páginas anteriores, hemos visto signos de la crisis estructural del modelo industrial de agricultura y los impactos negativos sobre los agroecosistemas que su persistencia está ocasionando.

Los usos del suelo en España vienen mostrando una tendencia similar a la del resto de países europeos, tendencia que se inició en el último tercio del siglo XX. La superficie cultivada viene disminuyendo desde hace décadas hasta situarse en la actualidad en 17,2 Mha, según los Anuarios de Estadística Agraria que publica el MAPA (2025). Por el contrario, la superficie forestal ha crecido un 26,4%, producto en muy buena medida del abandono de tierras de cultivo y pasto. Estas últimas disminuyeron también un 8,1%.

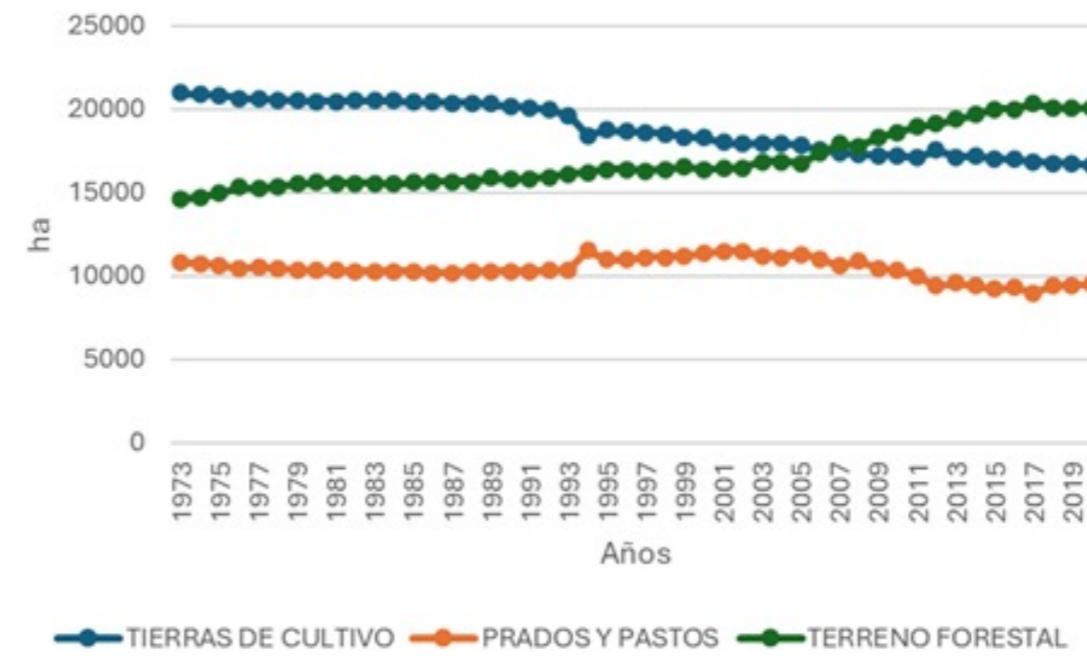


Figura 58
Evolución de
los usos del suelo.
Fuente: Anuarios
de Estadística
Agraria y Censos
Agrarios
(1973 a 2019).

La producción agrícola española sigue estancada en cuanto al volumen de producción de biomasa desde hace tres décadas, si se contabiliza en materia seca y se tiene en cuenta toda la productividad primaria neta generada en la superficie agraria utilizada. Si se contabiliza en materia fresca y se tiene en cuenta sólo la producción que tiene valor comercial, la producción ha crecido pero su crecimiento ha sido muy modesto, un 10,4% en casi treinta años (MAPA, 2025). Un poco mayor ha sido su aumento en términos monetarios, un 12,7% en euros de 1990 entre esa fecha y 2019, año del que ya disponemos de las cuentas consolidadas del sector agrario. Este relativo estancamiento o crecimiento modesto, según se utilice una u otra forma de contar, es producto de la confluencia de dos tendencias opuestas: por un lado, de la disminución de la superficie cultivada y, por otro, de la intensificación productiva, que ha seguido aumentando gracias a la expansión de las superficies irrigadas y de los cultivos protegidos bajo invernadero. Estas dos tendencias opuestas, abandono e intensificación, han tendido a compensarse y han generado una relativa estabilidad productiva que se ha visto rota con frecuencia por la variabilidad interanual del clima mediterráneo. La intensificación y especialización ha sido posible gracias a la ampliación de las superficies de regadío, a la mayor dotación de agua (por encima de la capacidad de extracción de los acuíferos) y la mejora de los sistemas de riego; también gracias a la expansión de los cultivos bajo plástico, tanto en invernaderos como en túneles.

El sector en su conjunto está volcado hacia la producción hortofrutícola, aceite de oliva y hacia la alimentación animal. En este último caso, esta alimentación se ve ampliamente suplementada con la importación de piensos en el mantenimiento de una enorme cabaña ganadera intensiva. Que la alfalfa y la cebada sean los cultivos que se producen en mayor volumen habla claramente de esta orientación hacia la alimentación animal. Toda esta producción se encuen-

tra intensamente orientada hacia la exportación, especialmente en lo que se refiere a la carne de cerdo, los cultivos bajo plástico, con el tomate a la cabeza, y el aceite de oliva. Esta vocación exportadora ha reducido la producción de cultivos tan relevantes como las leguminosas, con impactos negativos en la salud de los agroecosistemas (su cultivo apenas ocupa más del 3% de la Superficie Cultivada (SC).

Para conocer los posibles futuros que nos augura la tendencia actual, se ha proyectado el sistema alimentario en España para mediados de siglo (2050) en el que no se producen alteraciones sustanciales en los usos del suelo, aunque se siguen sobreexplotando los acuíferos. Los usos del suelo se mantienen inalterados en lo que se ha llamado modelo BAU (Business as Usual) entre la actualidad, el hito intermedio 2030 y el hito 2050, y en contraposición, también se ha proyectado un modelo en el que se implementan una serie de medidas de importante calado que representaría la transición agroecológica a nivel de sistema alimentario, el llamado modelo BIO+. Este segundo modelo asume alteraciones sustanciales en la distribución de cultivos con varios objetivos productivos principales: recuperar las estrategias de fertilización orgánica de los agroecosistemas, avanzar hacia un horizonte de producción ecológica y adaptar los usos del agua a las condiciones climáticas y disponibilidades hídricas en los hitos temporales estudiados.

Para el modelo BIO+ es importante reseñar que las leguminosas casi duplican su superficie en 2030 y recuperan su protagonismo histórico, tanto por su importantísimo papel en la reposición de la fertilidad del suelo como en la mejora de la dieta. En el horizonte de 2050 adquieren un protagonismo aún mayor, multiplicándose por seis la superficie actual. Este papel fundamental de las leguminosas presentan efectos sinérgicos de gran calado, uno de los cuales tiene que ver con su capacidad de aportar nutrientes esenciales para potenciar el incremento de la superficie dedicada a la producción de hortalizas, así como para incrementar la proteína vegetal disponible para las dietas.

El escenario BIO se asienta también en una reducción de la superficie irrigada porque se considera que el consumo de agua para riegos no podrá mantenerse en el futuro en ninguno de los escenarios de cambio climático considerados. Así, el modelo BIO+ presenta en 2050 una reducción de 3.200 ha en invernaderos y de 163.000 ha de regadío al aire libre, que pasan a secano. En la reducción en los cultivos que ello supondrá se han priorizado los cultivos para alimentación humana, las leguminosas y se ha tratado de mantener el riego tradicional por las importantes funciones ambientales que desempeña. La base de este modelo consiste en la reconversión completa del manejo convencional de los agroecosistemas en beneficio del manejo ecológico. La pervivencia del manejo convencional, aún en porcentajes bajos para 2030, no es una hipótesis que pueda contemplarse para 2050, habida cuenta de los fuertes impactos ambientales que provoca. La alimentación del país sólo podrá ser saludable y sostenible si es producida con métodos también sostenibles. Para 2030 se

ha supuesto un incremento de la superficie ecológica respecto al ritmo actual para cumplir con los objetivos de 2050. Todo ello supondría una vinculación casi total de la alimentación con el territorio y una disminución sustancial de la intensidad y, sobre todo, de la especialización del cultivo, reduciendo sustancialmente la dualización de la agricultura española. Con esta asunción, se pone fin también al creciente acaparamiento de tierra virtual que el sistema alimentario español está llevando a cabo en países de la periferia, especialmente en América Latina a través del comercio exterior (Infante et al., 2018). De esa manera, se volverá a dotar al conjunto del territorio de la funcionalidad alimentaria que hoy está perdiendo y se frenará el abandono, la desagrariación y la despoblación del medio rural. Esta es, además, la manera más idónea de prestar de manera óptima los servicios ecosistémicos que los agroecosistemas cada vez prestan con menor calidad debido a su manejo convencional.

5.1.2. La producción primaria neta

La reducción prevista de las precipitaciones y del aumento de las temperaturas consecuencia del Cambio Climático provocarán una disminución de la producción agraria para finales de esta década del 2%, pese a mantener la misma distribución de los usos del suelo en el modelo BAU. También caerán los rendimientos un 2% para 2030 y un 8% para 2050. El descenso mayor se producirá en la producción bajo plástico (-10%), en tanto en los secanos y en los cultivos irrigados al aire libre la caída será del 8%. Más allá de considerar la contabilidad de la producción de materias primas y alimentos, el análisis de la Productividad Primaria Neta (PPN) permite observar que los efectos de perpetuar este modelo productivo proyectan una caída del 2% en 2030 y del 7% en 2050 con respecto a la actualidad, y eso a pesar de seguir utilizando productos de síntesis química y extenuando los acuíferos bajo este modelo dual (abandono- intensificación). Esto supone una espiral negativa, con acuíferos cada vez más extenuados, rendimientos y PPN cada vez menores y con ello agroecosistemas cada vez menos funcionales.

Sin embargo, en el modelo BIO+, la previsión es que la producción aumente un 5% respecto al escenario base para 2030 y se reduzca en 2050, pero menos que en el escenario BAU. Mientras que la reducción será del 8% para el modelo BAU, para el modelo BIO será del 6%. Ello será resultado del cambio de manejo de convencional a ecológico y una clara orientación agroecológica del mismo. También influyen los cambios en los usos de las tierras cultivadas, donde se cultivan más leguminosas y hortalizas, adaptando siempre los regímenes de irrigación a la oferta de agua. La producción en invernadero debería experimentar una reducción del 45%, resultado de disminuir la superficie bajo plástico y la dotación de agua, para adaptarse a la disponibilidad de las Demarcaciones. Descenderá también el cultivo de oleaginosas y cereales al disminuir la ganadería intensiva, reo-

rientando la producción agrícola hacia la alimentación humana y no hacia la alimentación animal. Las alarmantes predicciones climáticas afectan de manera importante a la dotación de agua, por lo que la adaptación del riego a la disponibilidad real de las cuencas hidrográficas implicará reducir en un 9% la producción en las tierras de regadío, que serían complementadas con el aumento del 2% en las tierras secano. En cualquier caso, el aumento más relevante se deberá registrar mediante el cultivo de leguminosas, cuyo volumen de producción se multiplicará por 4,2, tanto en el secano como en el regadío. Su mayor disponibilidad permitirá mejorar la dieta, acercándose de nuevo a la dieta mediterránea y cumpliendo las recomendaciones de la dieta planetaria, a la par que permitirá atender en buena medida a las necesidades de fertilización orgánica de los agroecosistemas.

Al contrario de lo que sucederá con el modelo BAU, la implantación del modelo BIO supondrá un aumento de los rendimientos del 5% para 2030. No ocurrirá, sin embargo, lo mismo en 2050. Los efectos del calentamiento global no podrán ser compensados con un manejo más sostenible de los agroecosistemas y los rendimientos caerán casi un 10%, pasando de los 2,1 t/ha a 1,9. Este descenso será más pronunciado, lógicamente, en la producción bajo plástico (43%) y en los cultivos irrigados al aire libre (5%). En cambio, la PPN aumentará en un 4% en 2030 y un 5% en 2050. Ello se debe a la reordenación de los cultivos, a los cambios en el manejo, en los sistemas de riego y a la reintroducción de variedades tradicionales de semillas. Aunque la parte de la biomasa que las estadísticas agrarias consideran "producción" se reducirá al 11% de la PPN total, la PPN en conjunto crecerá, especialmente en las zonas forestales, que en este modelo mejoran por su re-articulación territorial con la actividad ganadera. En este modelo, la cantidad de biomasa no cosechada y, en general, la biomasa reciclada aumentará gracias al cambio radical de manejo de los agroecosistemas.

5.1.3. El retorno del carbono a los agroecosistemas

Como vimos en el epígrafe 3.1.6.1, la devolución de carbono a los agroecosistemas tiene lugar mediante la incorporación de los residuos de los cultivos que no son cosechados, de las raíces y del estiércol que se aplica. En la actualidad este retorno se estima en 2,3 t/ha. Esa contribución podría ser mayor si los residuos urbanos y los procedentes de la agroindustria fueran mejor utilizados para destinárselos a reponer la fertilidad de los agroecosistemas. Su entidad es mínima, reflejando la brecha metabólica que aún sigue existiendo entre la ciudad, destino mayoritario de los alimentos, y los agroecosistemas. Si las cosas siguen como están, se producirá una disminución, ciertamente pequeña (1%), del carbono aplicado a los agroecosistemas tanto para 2030 como para 2050. Sin embargo, en el modelo BIO+ la aplicación de carbono se incrementará en un 38% para 2030. Ello será posible gracias a la mayor aplicación de estiércol y subproductos urbanos y agroindustriales, al aumento de los residuos no cose-

chados, y al aumento del tamaño de las raíces. Todo ello se ve especialmente favorecido por la introducción de variedades tradicionales que presentan mayor fracción radicular y aérea no cosechable, y consecuentemente son una herramienta fundamental para la adaptación al cambio climático (Carranza-Gallego et al., 2018a, 2018b, 2019). A ello se debe añadir que la aplicación del modelo BIO supondrá la recuperación de las cubiertas verdes asociadas a cultivos, lo que potencialmente incrementa la materia orgánica que retorna al agroecosistema. Finalmente, el compostaje de residuos urbanos y la devolución de residuos de la agroindustria a los agroecosistemas aumentará el aporte de carbono y comenzará a reducir la brecha metabólica. La aplicación de carbono será aún mayor en 2050, un 70% respecto a la situación actual, alcanzando 3,9 t/ha gracias a la continuidad de las medidas descritas.

5.1.4. El efecto sobre la biodiversidad

La biodiversidad es uno de los temas más relevantes de cara al futuro próximo bajo los condicionantes del cambio climático. Hay tres aspectos fundamentales que influyen en la biodiversidad y el modelo agrícola implementado:

5.1.4.1. El abandono de los plaguicidas sintéticos que conlleva la conversión a producción ecológica, reduce el efecto deletéreo que éstos presentan sobre los organismos vivos

El incremento de biodiversidad al pasar a producción ecológica ha sido abordado en numerosos estudios, que han sido compilados en diversas revisiones bibliográficas y metaanálisis (Soil Assotiation, 2000; Bengtsson et al. 2005; Hole et al. 2005; Tuck et al. 2014; Smith et al. 2019.). Los dos últimos metaanálisis cuantifican el incremento promedio de la riqueza de especies en un 34% al pasar a manejo ecológico, siendo este incremento de alrededor del 20% para artrópodos y pájaros, y del 70% para plantas (Tuck et al. 2014), mientras Smith et al. (2019) obtienen un incremento del 23% de riqueza y del 32% de abundancia de especies. En este metaanálisis se obtiene diferencia significativa en abundancia a favor del manejo ecológico y, por este orden, en los grupos funcionales de productores (hortalizas), descomponedores, polinizadores y enemigos naturales. Sin embargo, no hubo diferencia significativa en abundancia de herbívoros. En cuanto a riqueza de especies, se obtuvo diferencia significativa en todos los grupos funcionales, salvo en descomponedores, siendo máxima la diferencia para productores y mínima para enemigos naturales. Entre las razones por las que el manejo ecológico promueve mayor biodiversidad se encuentra el abandono de los plaguicidas. Bartram y Perkins (2003) tras revisar 33 casos de estudio en Gran Bretaña muestra que el aban-

no de los insecticidas aumenta la abundancia de invertebrados, que alimentan a aves y mamíferos, incrementando la biodiversidad en las fincas ecológicas.

5.1.4.2. El incremento de la PPN y la fitomasa recirculante, y el uso de variedades tradicionales de cereal con sistemas radiculares y volumen de residuos mayores que las variedades modernas impulsan la biodiversidad

La relación entre flujos de fitomasa recirculante y biodiversidad ha sido propuesta por ecólogos con base en estudios empíricos que muestran que los ecosistemas con mayores cantidades de fitomasa ingresando a la red alimentaria serán más capaces de sostener cadenas alimentarias complejas de especies heterótrofas y, por ende, mayor biodiversidad (Thompson et al. 2012). En el caso particular de los agroecosistemas, diferentes autores han encontrado que el aumento en la fitomasa disponible para alimentar a las especies heterótrofas es uno de los impulsores del aumento de la biodiversidad asociado a la conversión de manejo convencional a ecológico (Döring y Kromp 2003; Rundlöf et al. 2008; Gabriel et al. 2013; Bartram y Perkins, 2003). La Soil Association (2000) en una revisión de 9 estudios realizados en Gran Bretaña muestra que la fitomasa de plantas silvestres se multiplicó por cinco en las fincas con cultivos herbáceos ecológicos. Mientras en el olivar ecológico respecto al convencional el incremento de fitomasa disponible para las especies heterótrofas silvestres fue un 9% superior en secano y un 44% en regadío, siendo clave la presencia de cubiertas vegetales en los olivares ecológicos para lograr este aumento (Guzmán and Astier, 2017). También Carranza-Gallego et al. (2019) mostraron un incremento de fitomasa recirculante debido al incremento de la PPN en las parcelas con variedades tradicionales de trigo respecto a variedades modernas. El incremento de PPN osciló entre 15% y el 9%, en función del manejo ecológico o convencional de las variedades.

5.1.4.3. La sustitución de fertilizantes de síntesis química por fertilizantes y estrategias orgánicas mejora la biodiversidad

Por último, la sustitución de fertilizantes de síntesis química por fertilizantes orgánicos es un impulsor importante de la biodiversidad edáfica, lo cual ha sido abordado en diversos metaanálisis. Lori M. et al. (2017) en un metaanálisis global con 149 comparaciones pareadas sobre microorganismos, confirmaron que la biomasa y actividad microbiana aumenta en promedio entre un 32 y un 84 % con manejo ecológico. Según estos autores, la inclusión de legumbres en la rotación de cultivos y de fertilizantes orgánicos son prácticas agrícolas que mejoran el tamaño y la actividad de la comunidad microbiana del suelo. Bebber and Richards (2022) realizaron un metaanálisis de 37 estudios y encontraron que la diversidad funcional fue un 7,0% mayor con manejo

ecológico frente a convencional, debido a la fertilización orgánica. Shu et al (2022) analizaron 219 estudios en todo el mundo y mostraron que la fertilización orgánica aumentó significativamente la diversidad microbiana en comparación con la fertilización química, y que a su vez la diversidad microbiana edáfica era un factor subyacente importante que impulsaba los rendimientos de los cultivos. Lu et al. (2023) igualmente concluyen que la fertilización orgánica a largo plazo promueve la resiliencia de la multifuncionalidad del suelo impulsada por las comunidades bacterianas, lo que es clave para la provisión de funciones ecosistémicas bajo cambios ambientales futuros.

En definitiva, en el modelo BIO+ el abandono del uso de plaguicidas de síntesis, la mayor PPN y de fitomasa recirculante, así como la adición de fertilizantes orgánicos, como estiércol y compost, generan un incremento de biodiversidad, que le aleja del modelo BAU, a corto (2030) y medio plazo (2050), cuando la conversión a manejo ecológico, la incorporación de variedades tradicionales de cereales de invierno, el uso de cubiertas vegetales en frutales, la siembra de los barbechos con legumbres y el uso masivo de compost orgánico, se masifican en el modelo BIO+.

Al comparar entre modelos dentro del hito temporal 2050 observamos cómo el modelo de transición BIO+ arroja un descenso de las especies amenazadas del 23% con respecto al modelo BAU para cualquier escenario. Lo que resulta más relevante es que de los grupos de especies más amenazadas (plantas terrestres y artrópodos), se reducen las especies amenazadas entre un 3% y un 22% dependiendo del escenario climático. Así, apostar por el modelo de transición BIO+ supone potencialmente reducir especies amenazadas, debido principalmente al conjunto de medidas beneficiosas para la biodiversidad de este modelo.

5.1.4.4. La biodiversidad marina

En el caso de la biodiversidad marina, la implementación de las áreas marinas protegidas (30% de áreas marinas protegidas con un 10% de áreas de protección estricta) en el 2030 genera un potencial de incremento de las capturas del 8% con respecto a la biomasa existente en el modelo BIO+, mientras que para el 2050 este valor asciende al 22% de incremento.

5.1.4.5. La reducción de la cabaña ganadera

La ganadería intensiva es, según hemos visto en epígrafes anteriores, el origen de buena parte de los problemas de insustentabilidad del sector agrario en España y fuente principal de emisiones de gases de efecto invernadero. Es un subsector que ocupa un lugar intermedio en una cadena de valor globalizada e hiperconcentrada económicamente, que importa cantidades ingentes de piensos procedentes de América Latina y exporta una fracción creciente de la produc-

ción a terceros países, especialmente a China (Delgado et al., 2024, Ríos-Núñez et al., 2015). El ganado monogástrico y, en menor medida el ganado vacuno, han sido los protagonistas de un cambio que ha primado la producción intensiva con un vínculo cada vez menor con la tierra y la integración vertical en cadenas alimentarias fuertemente concentradas. La reducción de los precios finales, lograda con la industrialización casi total del proceso productivo, ha favorecido un cambio en la dieta hacia pautas occidentales, abandonando las propiamente mediterráneas con impactos sobre la salud.

Aunque la producción ganadera está orientada hacia el mercado interior, también y de manera creciente hacia la exportación. La carne de cerdo y en menor medida de aves, son los protagonistas del esfuerzo productivo ganadero. En conjunto, la ganadería genera unos 9 miles de toneladas de carne, unos 7,9 miles de toneladas de productos lácteos y 0,9 miles de toneladas de huevos. El protagonismo del cerdo y de las aves se mantendrá si las cosas siguen sin cambios apreciables (modelo BAU), y descenderá la producción de vacuno, ovino y caprino debido a la reducción de la biomasa procedente de pastos debido al cambio climático. En conjunto, pero esta producción se reducirá solo en 3% gracias al incremento de las importaciones hasta el 26% del total del consumo de la cabaña ganadera, o lo que es lo mismo, garantizar la actual cabaña ganadera, tanto para 2030 como para 2050, implica un incremento de la dependencia internacional de importaciones de materias primas para su alimentación si se consolida el modelo BAU.

Cualquier escenario en el que la producción agraria sea sustentable debe contemplar una reducción sustancial de la ganadería intensiva, por el fuerte impacto que tiene no solo sobre los agroecosistemas españoles y de terceros países y el aumento de la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero, sino también por los efectos que está teniendo en la salud al fomentar el consumo excesivo de carnes y derivados lácteos. Esa reducción sería el resultado de reducir sustancialmente la ganadería intensiva, fomentando paralelamente la ganadería extensiva y su manejo ecológico, volviendo a vincular la actividad ganadera con el territorio, lo que a su vez implicaría suprimir las importaciones de piensos. La aplicación de este modelo BIO+ para 2030 mantendría la producción avícola, las importaciones de piensos y los manejos intensivos del ganado, pero reduciría la cabaña, especialmente la producción porcina. Sin embargo, en 2050 la reducción de la cabaña sería más acusada: la producción de cerdo se reduciría en un 88% y, en menor medida, la producción (-76%). Por el contrario, la producción de ovino y caprino, la ganadería más adaptada a los agroecosistemas españoles, aumentarían un 83% respecto a la producción actual, reflejando la vinculación casi total con el territorio. En el caso del bovino, su transición hacia un modelo basado en el pastoreo llevaría a un incremento de la cabaña un 7% con respecto a la actualidad.

La implantación del modelo BIO+ supondría pues un cambio muy pronunciado, tanto en el manejo de los animales como en la

dieta de estos, dando lugar a una utilización mayor de los residuos agrícolas. Aunque el consumo total de la cabaña aumentará ligeramente con respecto a la actualidad, este aumento se sostendrá sobre un consumo mayor de paja y otros residuos agrícolas y de un incremento del uso de los pastos, hoy infrautilizados. En 2050 estos cambios se verán acentuados, dando lugar a un cambio en la composición de la propia cabaña ganadera, a un incremento del uso de los residuos de cosecha y de los pastos, especialmente de estos últimos, que proporcionarán hasta el 72% de las necesidades alimentarias de la cabaña. Ello permitirá prescindir de las importaciones, liberando tierras productivas en terceros países que podrán dedicarse a satisfacer las necesidades de su población. De esta manera, la cabaña ganadera volverá a estar vinculada con el territorio, prestando los servicios que los agroecosistemas demandan.

Por último, la transición hacia un modelo basado en la agricultura ecológica y el manejo agroecológico de los agroecosistemas supondría una reestructuración muy significativa de los flujos de nitrógeno, hoy completamente desestructurados. En la actualidad, un porcentaje muy relevante de los flujos de nitrógeno provienen de la importación de piensos, concretamente un 41%. Ese porcentaje se incrementará ligeramente en 2030 (42%) y 2050 (43%) si las cosas siguen como están, siguiendo una ligera tendencia al descenso en el uso de N total, en tanto se incrementa el aporte externo a través del mercado internacional. En cambio, la aplicación del modelo BIO+ significará un descenso del 6% en el uso del nitrógeno para 2030, una relocalización de los flujos y un descenso de las importaciones hasta situarse en el 66% de origen nacional y el 44% de importación; debido ello a la relocalización nacional de la producción de piensos. Para 2050, las tendencias seguirán con un descenso del 52% con respecto a la actualidad hasta las 807 t de N. De éstas, el 99% serán procedentes de la producción nacional.

5.1.5. El balance comercial de las cadenas alimentarias

El sector agrario español se ha convertido en un sector cada vez más especializado y volcado en el comercio exterior, tanto desde el punto de vista de las importaciones como de las exportaciones, reflejando su inserción en las cadenas alimentarias globales. Ello le ha hecho perder autonomía alimentaria, de tal manera que en la actualidad depende en muy buena medida de los flujos internacionales de biomasa para atender la demanda interna. Al mismo tiempo, como importador neto de biomasa, se ha vuelto extremadamente dependiente de las importaciones de piensos y otros productos agrícolas para mantener la vocación exportadora de algunos subsectores productivos o de la industria alimentaria. En efecto, el principal producto de importación son los cereales, que representan el 48% del consumo doméstico. La mayoría son granos que tienen como destino la alimentación animal:

soja (100% de su disponibilidad bruta importada), trigo (49% importado) y maíz (69% importado). Le siguen la torta de soja, el aceite de palma y el azúcar. En términos generales, la disponibilidad bruta está compuesta principalmente de un 74% de producción nacional, con casi la misma cantidad de piensos que de alimentos (39% y 36% de la producción nacional respectivamente), seguido de la producción de procesados (15%). La importación, por tanto, contribuye con el 26% restante a la disponibilidad bruta, donde de nuevo destaca la importación de alimentos (41% de la importación), casi parejo a la importación de piensos (39%). Del otro lado, el consumo doméstico (80% de la disponibilidad bruta) es el destino principal de la disponibilidad bruta, dentro del cual destaca el destino a uso como piensos, consumiendo el 35% de la disponibilidad bruta (el 44% del abastecimiento doméstico). En el caso de la exportación (20% de la disponibilidad bruta), principalmente se exportan alimentos (75% del flujo de exportación). Si consideramos la disponibilidad bruta, el 40% es usado como alimento, el 37% como piensos y el 13% para su procesamiento (principalmente olivar). Destacan productos como la carne de cerdo, que se exporta y se consume en volúmenes parecidos (52% y 48% de la disponibilidad bruta destinada al consumo y a la exportación respectivamente), algo que sucede igual en las frutas y hortalizas (mismos repartos de la disponibilidad bruta). De hecho, es de destacar que el 60% de la disponibilidad bruta de vegetales se destina a la exportación mientras que solo un 40% se destina al consumo doméstico.

De seguir las cosas como están, el cambio climático producirá una reducción mayor de la producción nacional. Si se mantienen las mismas pautas dietéticas de la población española, lo más probable es que se reduzcan también las exportaciones. Tres productos serán los más afectados: los cereales (-22% para 2030 y -39% para 2050), que irán destinados a mantener el esfuerzo ganadero, y frutas y hortalizas (-22% en 2050).

El modelo BIO+ supone, tal y como hemos visto, una reorientación de la producción hacia el mercado interno, vinculándola estrechamente con la dieta y la reducción paulatina de las importaciones y exportaciones agroalimentarias. Para 2030 se prevé un incremento de la producción y un descenso en las importaciones. Ello supondrá cambios en la dieta, especialmente en la reducción del consumo de productos animales y un aumento de la ingesta de alimentos de origen vegetal. Como hemos dicho ya, ello reducirá a su vez las exportaciones de productos cárnicos, cereales, procesados y frutas y hortalizas. Estos cambios serán más intensos en el horizonte de 2050. Las importaciones serán reducidas drásticamente, salvo para productos que no pueden cultivarse en España como cacao, café y gomas. En el caso de la producción, tendrá lugar una disminución de la producción de granos, frutas y hortalizas y otros cultivos; pero la disminución más intensa tendrá lugar en la producción ganadera (-41%). Ello supondrá una reducción del uso de granos para pienso. El consumo en fresco de frutas y hortalizas primará sobre el consumo de producto procesado.

5.1.6. Un cambio de modelo agrario está en marcha

El valor de la producción de la rama agraria ha venido creciendo de manera firme, a una tasa anual del 2,2% desde 1960, multiplicándose casi por cuatro (MAPA, 2025). Pero, el crecimiento de la producción agraria ha venido acompañado por un aumento en el uso de insu- mos externos y ello se ha traducido en gastos intermedios cada vez más elevados (MAPA, 2024b). El valor de los inputs ha crecido a una tasa del 4,1%, casi el doble que la registrada por la producción. Los costes intermedios suponen ya casi el 40% del valor de la producción de la rama agraria. Ello ha tenido un impacto negativo sobre la renta agraria, que ha mantenido una tendencia constante a la baja. En conjunto, se ha depreciado un 41,4% desde inicios de los sesenta. Ello contrasta con el incremento que ha experimentado el gasto familiar medio, que se ha multiplicado por 2,4 (INE, 2023b).

Los agricultores han combatido la caída de la renta agraria y la brecha con el gasto medio de las familias, elevando la productividad del trabajo. Esto es, destruyendo empleo y, cuando eso no ha sido suficiente, abandonando explotaciones. Muchas explotaciones familiares han desaparecido ante la imposibilidad de hacer frente al aumento de los costes intermedios y la caída de los precios percibidos. Las explotaciones de mayores dimensiones han resistido mejor la caída de la renta. Han implementado dos tipos de estrategias: por un lado, han tratado de ganar dimensión económica mediante la ampliación de superficie y la especialización en cultivos y aprovechamientos con mejores márgenes estándar; por otro lado, han tratado de reducir los costes laborales mediante el empleo de maquinaria y medios químicos o mediante la reducción de los salarios pagados, especialmente a los trabajadores temporales.

En torno al 88% de las explotaciones agrarias eran incapaces en 1993 de proporcionar ingresos que permitieran cubrir, una vez descontados los costes directos, el gasto medio de una familia en España; sólo el 12% lo lograba. En 2016, las explotaciones con ingresos insuficientes se habían reducido un 42% pero a costa de la desaparición de muchas de ellas, significando aún el 75% de todas las explotaciones. En cambio, el número de las explotaciones por encima de dicho umbral aumentó en un 50% a lo largo del período y en 2016 significaba ya una cuarta parte de todas las explotaciones. Este deterioro de la renta agraria no ha sido paliado por los fondos procedentes de la PAC, especialmente en el caso de las explotaciones familiares. Según el informe que elabora el Fondo Especial de Garantía Agraria (FEAGA, 2023) sobre la distribución de las ayudas directas de la PAC, las personas jurídicas (empresas/sociedades mercantiles) suponían 2019 el 8,14 de los perceptores y captaban el 37,43% de las ayudas. Además, según la organización agraria Coordinadora de Agricultores y Ganaderos COAG (2020) estas personas jurídicas obtienen el 42% del valor de la producción agraria en la actualidad.

Como consecuencia de la pérdida de rentabilidad de la actividad agraria, la población dedicada al cuidado de los agroecosiste-

mas ha sufrido una degradación muy significativa. Del millón y medio de activos agrarios que había a comienzos de los años noventa se ha pasado a poco más de ochocientos mil en 2023, que apenas suponen el 3,5% de los activos del país. El sector agrario viene destruyendo empleo de manera sistemática desde inicio de los años sesenta y a un ritmo acumulativo del 3% anual, una tasa sin igual en el conjunto de la economía española. La reducción del empleo ha sido debida a la mecanización de las tareas agrarias, pero también al abandono de la actividad y de la desaparición de explotaciones.

Efectivamente, una parte sustancial de las explotaciones agrarias han desaparecido. De acuerdo con las encuestas de estructuras (INE, 2023a), entre 1987 y 2016 el número de explotaciones disminuyó un 48% y la superficie media creció un 71%, por un 79% de incremento en la Superficie Agraria Útil (SAU) por explotación. Según la nota de prensa que acompaña a la presentación de los datos de la última Encuesta de Estructura de Explotaciones Agrarias de 2023, el número de explotaciones ha seguido reduciéndose. La comparación con los datos del Censo Agrario de 2020 arroja una disminución del 12,4% en solo tres años. La superficie media por explotación ha aumentado un 13,2%, pero también ha disminuido un 1,6% la Superficie Agrícola Utilizada (SAU), reflejando así el abandono de la actividad que sigue produciéndose.

Las explotaciones con tamaño inferior a las 10 hectáreas han disminuido en más del 50%, en tanto que el número de explotaciones con una superficie superior a 100 hectáreas ha aumentado. Por el contrario, las sociedades mercantiles han tenido una expansión considerable (un 51% entre 1993 y 2016), pasando de suponer el 7,1% del total al inicio del periodo a ocupar el 11,5% de la SAU en 2016. Según el censo agrario de 2020, las explotaciones a cuyo frente figura una personalidad jurídica, y no física, es del 6,5%, pero controlan el 26,8% de la superficie agraria utilizada.

Por otro lado, la población agraria muestra una tendencia muy significativa hacia el envejecimiento. De un modelo productivo sustentado mayoritariamente en titulares situados entre los 45 y los 64 años (56% en 1987), hemos pasado a un modelo en el que hasta un 40% de los titulares tiene más de 65 años. La edad media de los jefes de las explotaciones es de 61,4 años; un 67% tiene más de 55 años y un 40% es mayor de 65 años, con una edad media de 76 años. La elevada edad media de los titulares de explotación invita a pensar en que el relevo generacional al frente de muchas explotaciones agrarias está en cuestión. Se está produciendo, además, un cambio significativo en la organización tradicional del trabajo, que también es coherente con las tendencias apuntadas: la aportación del trabajo familiar se ha reducido a la mitad cuando suponía tres cuartas partes de toda la mano de obra empleada; por su parte, el trabajo asalariado ha pasado de suponer una cuarta parte a la mitad. Según el censo agrario de 2020, el 51,1% de las UTAs totales proporcionadas por la actividad agraria provenían del titular de la explotación y de sus familias, en tanto que el 48,9% lo eran de trabajo asalariado eventual o fijo o bien subcontratado. Los datos muestran también que la destrucción de

empleo se ha producido fundamentalmente en el trabajo aportado por la familia. Este fenómeno refleja fielmente la progresiva desfamiliarización de la actividad agraria y la desagrariación de las familias del sector, que buscan empleo para sus miembros, especialmente para los hijos, en otras actividades económicas (Collantes, 2007). El modelo tradicional de la agricultura española, basado en la explotación y en el trabajo familiar, está experimentando un cambio muy relevante hacia un modelo basado en explotaciones más grandes o más intensivas que emplean trabajo asalariado. La mano de obra inmigrante tiene, además, un peso creciente entre los asalariados. Según la Encuesta de Población Activa (INE, 2025b), los inmigrantes suponen en torno al 35 % de los trabajadores asalariados en el sector primario. Seguramente el porcentaje será mayor, dado que una parte difícil de cuantificar del trabajo temporero se contrata con inmigrantes “sin papeles”.

En definitiva, la tendencia decreciente de la renta ha empujado a muchas medianas y grandes explotaciones hacia aquellas producciones con mayores ingresos brutos, especialmente hacia la ganadería intensiva, los cultivos leñosos intensivos e hiper-intensivos y hacia los cultivos forzados bajo plástico. Estas orientaciones productivas han seguido incrementando el uso de insumos externos y, con ellos, el grado de intensificación y especialización de la agricultura española. Se puede concluir que la estrategia de los agricultores para contrarrestar la caída de la renta ha sido cuádruple: incrementar el tamaño de las explotaciones, intensificar la producción, especializarse en cultivos y aprovechamientos ganaderos que proporcionan mayor valor añadido y reducir el peso de trabajo empleado y de los salarios. Cuando ello no ha sido posible, la “solución” más común ha sido el abandono de la actividad. Esta estrategia explica, pues, la reducción de la superficie cultivada y del uso de los pastos, el abandono de tierras de secano y, en paralelo, el pronunciado aumento de la ganadería y la agricultura intensiva protegida bajo plástico.

5.1.7. La degradación de los elementos estructurales de los agroecosistemas

La degradación de los elementos estructurales que configuran la base biofísica de los agroecosistemas están ligados a estas macrotendencias, especialmente con el uso creciente de inputs externos al sector, sostén de la intensificación y especialización productivas. Al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, a la erosión, a la contaminación de los cursos de agua con nitratos y plaguicidas, a la disminución de la biodiversidad, etc.. hay que añadir la ampliación de una brecha metabólica que desvincula los elementos biofísicos y su sustentabilidad de los flujos locales de energía que mantenían históricamente su correcto funcionamiento. Esto se produce por la sustitución de los flujos internos de energía, en forma de biomasa, por insumos externos procedentes de otros sectores de la economía, algo que ha seguido ampliándose en los últimos años (González de Molina

et al., 2020). Lo mismo ha pasado con los flujos internos de nutrientes: el decreciente peso de las leguminosas en el conjunto de los cultivos, y las praderas y forrajes, es una buena muestra. Este fenómeno es parte del proceso de conversión hacia la ganadería intensiva alimentada con granos-pienso. Este proceso ha seguido aumentando en las últimas décadas, disminuyendo la entrada natural de nitrógeno en las tierras cultivadas. Otra muestra de la ruptura de los flujos internos de nutrientes es la caída en términos absolutos de la cantidad de biomasa reciclada (Guzmán et al., 2018), agravando el desacople de la agricultura española de su territorio. Dado que la biomasa es imprescindible para mantener la calidad de los bienes fondo biofísicos (suelo y biodiversidad), su sustitución por insumos externos agrava los problemas de deterioro de los agroecosistemas y estimula el abandono de las tierras más deterioradas (Guzmán et al., 2017 y 2018). En definitiva, ambos procesos, deterioro agroecosistémico y pérdida de rentabilidad económica, están ligados a través del incremento absoluto y relativo de los inputs externos como energía que mueve la agricultura española.

Mantener los agroecosistemas en buen estado para que puedan prestar servicios agroecosistémicos exige al menos dos requisitos: el primero es invertir trabajo no sólo en tareas productivas, sino también reproductivas; el segundo, es que los circuitos internos de biomasa generados por el propio agroecosistema sean la base de su funcionamiento. La disminución de la renta agraria ha incidido de forma negativa tanto en la óptima prestación de los servicios ecosistémicos como en la recirculación de la biomasa en el interior de los agroecosistemas. La caída de renta reduce la posibilidad de los agricultores de invertir en trabajos reproductivos para mantener en buen estado los elementos fondo biofísicos. Por otro lado, la destrucción del empleo, principalmente familiar, ha expulsado de la agricultura a aquellas personas que colaboraban con el agricultor en la realización del trabajo reproductivo, incluso cuando éste no era remunerado. La destrucción del trabajo familiar ha impulsado también la salida del sector agrario de los descendientes de los agricultores en activo que, dada la escasa rentabilidad de la actividad agraria, no encuentran incentivos para permanecer en el sector. En la medida, que los bienes fondo biofísicos no van a ser heredados por los descendientes, desaparecen también los incentivos para mantenerlos en buen estado. La caída de la renta se ha cebado, además, en aquellas orientaciones productivas que manejan más territorio (agricultura de secano, ganadería extensiva y de pastoreo), y que, por lo tanto, tienen que invertir trabajo y dinero en tareas de gestión territorial (tanto de los elementos fondo-suelo, agua, biodiversidad..., como de los flujos-biomasa, agua, etc.) que ni el mercado, ni las instituciones remuneran.

Las orientaciones técnico-productivas que más han crecido son aquellas que menos territorio manejan, bien porque sean explotaciones sin tierra (buena parte de la ganadería intensiva), bien porque el territorio a manejar sea mínimo (agricultura intensiva protegida). En el caso de la ganadería intensiva, el territorio está mayoritariamente en

terceros países y la destrucción de los agroecosistemas de origen no figura entre sus costes, ni sufren sus consecuencias de forma directa. Respecto a la agricultura intensiva protegida, el escaso territorio que manejan es concebido sólo como un soporte físico de las plantas y apenas está interconectada con el entorno a través de flujos de biomasa, nutrientes o biodiversidad. En ambos casos, la ganadería y la agricultura intensiva protegida, sólo se conectan con el territorio circundante a través de los flujos de agua, único elemento fondo que, a día de hoy, no pueden importar masivamente de territorios lejanos. Por ello, es la degradación del agua, en cantidad y en calidad, la que más conflictos sociales genera en el entorno de estas explotaciones.

5.2. La importancia de los productos del mar

5.2.1. Una situación altamente dependiente del extranjero

En la actualidad, el sistema alimentario de productos de la pesca y la acuicultura en España presenta desafíos significativos en términos de eficiencia, resiliencia y sostenibilidad. El consumo humano y la producción de la industria española depende en gran medida de las importaciones (60 %) y de las capturas realizadas por la flota en caladeros internacionales (19%). Así, toda la cadena de suministro está expuesta a una gran vulnerabilidad ante factores externos como cambios en la disponibilidad de recursos, fluctuaciones en los precios del combustible, regulaciones internacionales y crisis geopolíticas (Belton et al., 2020; Gephart et al., 2017; Pauly et al., 2005). La excesiva dependencia del suministro de alimentos del exterior limita la capacidad de respuesta del sistema alimentario ante crisis ambientales y económicas, comprometiendo su sostenibilidad a largo plazo (Gephart et al., 2017; Guillen et al., 2019).

Los productos del mar congelados y transformados juegan un papel fundamental en el sistema alimentario de productos del mar en España, alcanzando el 72% de la disponibilidad de alimentos. Esta preponderancia de productos congelados y procesados plantea interrogantes sobre su impacto en la salud y la nutrición ya que los productos procesados pueden modificar su composición y perder parte de sus nutrientes esenciales debido a la utilización de aditivos y conservantes en los métodos de procesamiento y conservación. Los procesos de congelación y transformación también implican un mayor uso de energía y emisiones de CO₂eq que los productos frescos.

La sobre pesca, los efectos del cambio climático y la creciente presión sobre los ecosistemas marinos por otras actividades económicas (contaminación, desarrollo urbanístico descontrolado) demandan una reestructuración del modelo actual para mejorar su sostenibilidad (Blanchard y Novaglio, 2024; Moranta et al., 2023; Ospina-Alvarez et al., 2024). En un contexto de lucha contra el cambio climático, reducir la huella de carbono de la pesca y la acuicultura es una prioridad clave para garantizar la seguridad alimentaria de la población.

5.2.2. Cambio climático y reducción de capturas: implicaciones para la seguridad alimentaria

El cambio climático está afectando positiva o negativamente la productividad de los ecosistemas marinos en todas las regiones del mundo (Barange et al., 2018; Cheung et al. 2021; Blanchard y Novaglio, 2024). Esto implica que, mientras la mayor parte de las regiones se verán afectadas disminuyendo las potenciales capturas, otras se verán incrementadas por el efecto de la temperatura en la reproducción de algunas especies. El aumento de la temperatura, la acidificación, la disminución de oxígeno y la pérdida de biodiversidad está reduciendo la disponibilidad de especies clave para la pesca comercial (Cheung et al., 2022, 2021).

Según informes de la FAO (Barange et al., 2018; Blanchard y Novaglio 2024), los efectos del cambio climático afectan a las capturas en varias regiones del mundo, especialmente en los trópicos, donde se estima una disminución del 40% en la biomasa de peces comerciales para finales de siglo. Además, el impacto del cambio climático sobre las pesquerías y la disminución de las capturas, estará afectada por cambios en los patrones de distribución de las especies afectando a los caladeros habituales. Este declive puede afectar de manera más severa a los países en vías de desarrollo que dependen en gran medida de los recursos pesqueros para su seguridad alimentaria y economía y que actúan como exportadores en la red del comercio internacional.

Los eventos extremos de temperatura amplifican los impactos del cambio climático en la pesca, reduciendo aún más la disponibilidad de especies comerciales y la capacidad de adaptación de las comunidades locales. Periodos prolongados de temperaturas oceánicas elevadas afectan a la fisiología de los peces y moluscos bivalvos, reduciendo su tasa de crecimiento y alterando sus patrones de reproducción (Cheung et al. 2021; Villasante et al. 2022). Las estrategias de recuperación de la biomasa pesquera se deben plantear teniendo en consideración los diferentes escenarios de cambio climático y las previsiones de reducción de las capturas asociados a estas (Cheung et al. 2022).

En el caso de España, la reducción de las capturas en caladeros tradicionales, tanto nacionales como internacionales, y la necesidad de incrementar las importaciones para satisfacer la demanda interna puede aumentar el riesgo de inestabilidad en el suministro de productos pesqueros como ya se ha comprobado en otras zonas del mun-

do (Gephart et al., 2017). El modelo BAU no ofrece soluciones para mitigar estos efectos, sino que mantiene e incluso profundiza la dependencia del mercado global, incrementando la vulnerabilidad del sistema pesquero español. Para compensar la menor productividad relacionada con las capturas se incrementan las importaciones para poder mantener el nivel actual de consumo de productos del mar. En lugar de adaptarse a un contexto climático de reducción de las capturas, reforzando las flotas que faenan en el caladero nacional y la producción de la acuicultura del país, se mantienen los mismos patrones de explotación y comercialización del siglo pasado, pudiendo generar problemas de abastecimiento en el futuro.

5.2.3. Impactos socioeconómicos: la crisis de la flota y del empleo en el sector

La disminución de las capturas y el mantenimiento de un modelo alimentario basado en la importación también tienen efectos negativos sobre la flota y el empleo en el sector pesquero. En las últimas décadas se observa una progresiva reducción del tamaño de la flota española y pérdida de puestos de trabajo del sector tanto a nivel nacional como europeo (CEPESCA 2022, MAPA 2024, STECF 2024). Esta tendencia puede verse agravada en los próximos años si no se toman medidas para fortalecer el tejido socioeconómico de la pesca local.

El modelo BAU no solo no revierte esta situación, sino que la acentúa. La dependencia de los mercados internacionales y la dominancia de productos procesados en el sistema alimentario de la pesca dificultan el desarrollo de un sector pesquero y economía local resilientes. En contraste, una estrategia basada en la relocalización de las capturas y la diversificación del sector, tal como se plantea en el modelo BIO+, podría generar mayores beneficios económicos y sociales. De hecho, aunque en 2050 las capturas se reducen en un 67% en el BIO+ en relación a la situación actual y solo en un 32 % en el BAU, los empleos asociados al sector pesquero de la extracción en este hito temporal se reducen en la misma proporción (40%) en ambos modelos. Esto se debe a que en el modelo BIO+ se plantea una reconversión de la flota de arrastre del caladero nacional hacia la flota de artes menores y aunque se reduzcan las capturas en la flota de arrastre se mantiene el número de empleados. Un tipo de pesca de carácter familiar y orientada a los mercados locales, que se basa en la captura diaria de especies predominantemente en fresco que aportan un alto valor nutricional para la alimentación humana.

5.2.4. Una alternativa basada en la relocalización y la sostenibilidad pesquera

El modelo BIO+ plantea una transformación profunda del sistema pesquero y acuícola, apostando por una mayor relocalización de las capturas y por un fortalecimiento de la acuicultura de bivalvos, principalmente de mejillón. Este enfoque está alineado con estrategias globales para reducir la huella ecológica de los productos del mar y mejorar la resiliencia de los sistemas de alimentación ante crisis climáticas y socioeconómicas (Costello et al., 2020; Froehlich et al., 2018).

El desarrollo de la acuicultura de bivalvos—mejillones, ostras y almejas—presenta ventajas ambientales significativas, ya que estos organismos no requieren alimentación externa y contribuyen a la mejora de la calidad del agua mediante su filtración natural (Alleway et al., 2019). Sin embargo, su producción en acuicultura puede verse seriamente afectada por la disminución de la producción debido a los diferentes efectos del cambio climático a largo plazo, más allá del hito 2050 contemplado en este informe (Froehlich et al., 2018). La acuicultura, en particular, ha sido promovida como una solución para la seguridad alimentaria global, aunque es poco realista esperar que la acuicultura por sí sola pueda satisfacer la demanda global de alimentos marinos (Sumaila et al., 2022). Aunque se espera un incremento moderado del 8 % en la producción acuícola para mediados de siglo, los efectos del cambio climático se harán notar a finales del siglo XXI con una reducción que puede llegar al 16% de la producción actual (Oyinlola et al., 2022).

A nivel de consumo, este modelo favorece una mayor disponibilidad de productos frescos en el mercado, en contraposición a la tendencia actual de consumo de productos transformados.

5.2.5. Reducción de las importaciones y disminución de impactos ambientales

Uno de los aspectos más relevantes del modelo BIO+ es la reducción de las importaciones y exportaciones, lo que conlleva una menor huella de carbono en el sistema alimentario. En este escenario, la producción nacional cubriría la práctica totalidad del consumo interno y, aunque se encuentre dentro del rango de lo recomendado (0-100 g/pax.día), puede resultar poco para el consumo histórico en España. Esta estrategia está en línea con las recomendaciones de organismos internacionales que abogan por sistemas alimentarios más locales y sostenibles (FAO, 2022).

Además, la reducción del número de barcos en el modelo BIO+ acompañada de una reconversión de la flota hacia los artes menores, el uso de energías limpias y la implementación de tecnologías más eficientes, también en la acuicultura, podría contribuir a minimizar todavía más las emisiones de CO₂eq (Gephart et al., 2021).

5.3. Los cambios en la alimentación

5.3.1. Una alimentación muy poco saludable

En lo que se refiere a la dieta, el consumo cárnico en la actualidad implica 4,6, el lácteo 2 y los huevos 2,2 veces la ingesta de estos alimentos con respecto a las recomendaciones EAT-Lancet (Willet et al., 2019), lo que implica una dieta excesivamente proteica y alta en grasas saturadas de origen animal con el perjuicio para la salud que ello supone. A ello hay que añadir el consumo de pescado, que excede en un 70% las recomendaciones saludables. En este sentido, cabe destacar el contenido en contaminantes y sustancias nocivas para la salud en este tipo de productos, principalmente asociado a los pescados de más de 1 kg de peso (Keyte et al., 2022; Rodríguez-Hernández et al., 2016), lo que incrementa la exposición a productos nocivos derivado de este consumo exacerbado. Además, el uso de aceites en las dietas resulta excesivo no solamente por el consumo directo de aceites sino por el consumo de grasas como ingredientes que, mayoritariamente se trata de aceites refinados y de peor calidad nutricional que el aceite de oliva (girasol, palma o soja). En cuanto al déficit de las dietas actuales, el consumo de legumbres, frutos secos y hortalizas es lo más destacable, tratándose de alimentos con un alto valor nutricional por su contenido en proteínas, vitaminas, minerales, fibra y compuestos bioactivos.

Estas dinámicas de consumo tienen repercusiones en la salud de las personas, con más de 3.300 kcal diarias per cápita para España, un consumo que excede con creces las recomendaciones (2500 kcal/día) y, muy probablemente con un aporte deficitario de micronutrientes y fibra. Existe un exceso del 76% del consumo de proteína (g/kg/día) y el consumo de lípidos depende en \square de aceites refinados. Si bien una dieta saludable implica un consumo mínimo de grasas (en torno al 30% del valor calórico total diario), parece que el patrón dietético actual se caracteriza por un desequilibrio al alza de estos valores. Esto implica, por un lado, un incremento de las calorías consumidas, y por otro, una ingesta de grasas de mala calidad, por tanto, una tendencia al sobrepeso y obesidad, tal y como se está reportando desde diferentes estudios de base poblacional. Este tipo de estudios analizan la tendencia temporal de este fenómeno en nuestro país y si bien hay indicios de intentos de estabilizar la incidencia de sobrepeso y obesidad y en adultos en la última década, estos indicadores continúan creciendo en las franjas etarias más jóvenes (Bravo-Saúncela et al., 2022; Feijoo et al., 2024).

Además de desequilibrio cuantitativo, se observa un desequilibrio cualitativo con un consumo que supera la ratio recomendada entre ácidos grasos insaturados y saturados de 2:1. Esto parece estar relacionado con el consumo de grasa saturadas de origen animal, pero también con ácidos grasos saturados de cadena media de origen vegetal como el ácido palmítico que se consume parcialmente oxidados debido a procesos industriales a los que se someten, ya que es un componente utilizado con frecuencia en la producción de alimentos ultraprocesados. A ello hay que sumar que, en este mismo ámbito, el uso de ácidos grasos insaturados, mediante procesos industriales como la hidrogenación o el sometimiento a altas temperaturas en períodos cortos de tiempo dan lugar a la aparición de grasas trans. Todo ello desplaza el consumo a un aumento de unos tipos de grasas que modifican el perfil lipídico del consumidor hacia perfiles no cardiosaludables, siendo este tipo de enfermedades la principal causa de muerte en nuestra sociedad, así como las responsables directas e indirectas de un alto grado de discapacidad y un elevado gasto sanitario (Mostaza et al., 2024).

5.3.2. Los potenciales cambios en el modelo BIO+

La implantación del modelo BIO+ reduciría el consumo de productos ganaderos de manera progresiva en un 17% en 2030, reducción que llegaría hasta el 82% en 2050. Dado que la producción extensiva sería la base productiva en este modelo, para 2050 la producción de carne de vacuno aumentaría en un 7%, incrementando la exportación de este tipo de carne en más de un 170% con respecto a los niveles actuales. Algo similar ocurriría con la carne de ovino y caprino, que si bien apenas varía en el modelo BAU, en el BIO+ se incrementaría en un 83%. Las exportaciones en este caso se incrementarían hasta casi un 400%. El incremento en la cabaña ganadera de ovino propiciaría un incremento de la producción (+80%) y exportación (+146%) de lana, producto que ya en la actualidad tiene una balanza comercial positiva dado que la producción es mayor que el consumo.

Por su parte el consumo de carne de ave se reduciría drásticamente un 81% en el año 2050, principalmente por ser una cabaña altamente dependiente de cereales para su cría. Dado que en este escenario se han eliminado las importaciones, las exportaciones también se verían reducidas en un 62% para el año 2050. Algo similar ocurriría con la carne de cerdo, cuya producción disminuiría en un 88% y el consumo en un 81%. La caída de la exportación de este tipo de carne sería drástica, de un 95%. La leche es un caso interesante dado que en la actualidad España es deficitaria en casi 3 millones de toneladas, con lo que la balanza comercial es negativa. En el escenario BIO+, su consumo se reduciría en algo más de la mitad para 2050, generando por primera vez un balance comercial positivo. En el caso de los huevos, al igual que en el pollo y el cerdo, tanto la producción como el consumo caerían de forma significativa en el año 2050 (un 72 y un 69%, respectivamente).

Cabe destacar el cambio en los perfiles de lípidos aportados en el modelo BIO+, en el que las grasas procesadas vegetales reducen drásticamente su presencia, dando paso al aceite de oliva como grasa vegetal protagonista de las dietas. Así, se prevé un descenso del 23% de los lípidos en la dieta, eliminando totalmente aceites como el de coco, palma, cacahuete, o soja, y reduciendo los aceites vegetales como el de girasol un 60%. Del otro lado, el gran protagonista de la dieta mediterránea, el aceite de oliva virgen extra, incrementaría un 100% su consumo, mejorando de este modo el perfil lipídico de la dieta debido a la mayor ingesta de grasas monoinsaturadas. Con estos cambios en la tipología de aceites se apreciaría un potencial efecto beneficioso para la salud derivado del protagonismo del aceite de oliva virgen extra en la dieta, que ha sido ampliamente caracterizado por su elevado contenido de ácidos grasos monoinsaturados, vitamina E y compuesto fenólicos con actividad antioxidante y antinflamatoria. Esto le convierte en una magnífica herramienta nutricional capaz de modular y prevenir enfermedades cardiometabólicas, neurodegenerativas e incluso ha mostrado tener efectos positivos en la flora colónica y la inmunomodulación de enfermedades digestivas (Millma et al., 2021).

Asimismo, el abastecimiento de frutas aumentará un 11% para 2030 y un 52% para 2050. En el caso de las hortalizas, se estima un incremento del 100% de su consumo. Si a ello le añadimos la caída en el consumo de azúcar y el alcohol del 20% para 2050 tendremos unas dietas mucho más saludables, por la aportación de azúcares naturales no refinados, mayor contribución de la fibra en la dieta y carbohidratos complejos procedentes de frutas y verduras. Además, el hecho de tratarse de productos ecológicos, la reducción drástica en la exposición a contaminantes químicos derivados de plaguicidas y fertilizantes, reducirá la presencia en tejidos biológicos de elementos como los disruptores endocrinos.

En lo que respecta a las proteínas, el aumento de proteínas vegetales junto con el descenso de las de origen animal que se observa en el modelo BIO+ van en consonancia con las recomendaciones dietéticas saludables y sostenibles y con el patrón de dieta mediterránea (AESAN, 2022, Willett et al., 2019). Esto es así porque los alimentos proteicos vegetales tienen la ventaja de no aportar grasas saturadas ni colesterol y de ser una fuente de fibra, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos, además de grasas insaturadas.

Por otro lado, respecto a alimentos de origen vegetal, con los cambios propuestos en el consumo alimentario en el modelo BIO+, en 2050 se cumplirían las recomendaciones de cereales, legumbres, frutos secos y tubérculos y, un poco por encima de lo recomendado quedarían aceite de oliva, verduras y frutas con unas Ratio de consumo recomendado (Rcr) de 1,3, 1,3 y 1,4, respectivamente. Ello unido a un consumo igual a lo que se recomienda de carne y lácteos supondría un consumo óptimo desde el punto de vista dietético, que garantizaría el aporte nutricional requerido, si bien hemos observado que la ingesta calórica sería de 2800 kcal/día aproximadamente y el perfil calórico resultante igualmente equilibrado.

El cumplimiento de las recomendaciones de consumo de la mayoría de los grupos de alimentos supondría una prevención de mortalidad y de cáncer, tal y como concluyen Laine et al. (2021) en un estudio de Cohortes en Europa en el que evalúan los beneficios de dietas según diferentes niveles de adherencia a la EAT Lancet diet. Además, el incremento en el consumo de frutas y hortalizas presentan efectos beneficiosos contra el cáncer colorectal, de pecho, de pulmón y de próstata (Freisling et al., 2020; Ubago-Guisado et al., 2021).

5.3.3. Los limitantes vinculados a la capacidad productiva

Existen dos productos a los que el modelo BIO+ es incapaz de cubrir en el hito temporal 2050: pescado y huevos.

En el caso del pescado, se observa un descenso abrupto del 40% para el modelo BIO+, principalmente por el paulatino descenso de las artes más intensivas (arrastre, palangre de superficie y cerco industriales) y de las importaciones de productos del mar. Esto implicaría un descenso en el consumo del 60% para 2050, con drásticas caídas en la ingesta de los peces de agua dulce (i.e. trucha) (100%), crustáceos (i.e. cangrejo o gambas) (99%) o cefalópodos (i.e. calamar) (97%). Dicha caída es fruto de la incapacidad de los caladeros nacionales de mantener el consumo actual, pese a contar con reservas marinas protegidas que mejore la biomasa capturable con el “efecto reserva” hacia zonas de pesca adyacentes. Esta incapacidad del modelo de sostener el consumo recomendado queda parcialmente solventada si se observa la dieta al completo. Desde un punto de vista nutricional, la capacidad de la dieta que emerge del modelo BIO+ cumple los estándares saludables en términos de macronutrientes aportados, energía y perfil calórico. Además de ello, la dieta saludable utilizada de referencia (Willet et al., 2019) indica que las dietas deben ser culturalmente adaptadas. Si a ello le añadimos la variabilidad cultural y gastronómica que influye a las distintas regiones de España, es de esperar que la ingesta media modelada aquí permita cierto grado de variabilidad entre regiones, lo que implica que en unas regiones puedan consumir más pescado que en otras, con dietas balanceadas. Algo similar ocurre con las recomendaciones de consumo de huevos, que podrá estar sujeta a variaciones estacionales (consumir huevos cuando se producen más, habitualmente en verano), siempre considerando que el conjunto de la dieta quede balanceada bajo parámetros saludables. En este sentido, es necesario replantear los hábitos de consumo de productos pesqueros, promoviendo tanto la diversificación con especies menos explotadas e infravaloradas como la reducción del consumo de proteína animal, complementándolo con fuentes de proteínas vegetales sostenibles, como las leguminosas de producción local y agroecológica. En este proceso, es importante considerar alternativas nutricionales que garanticen el aporte de ácidos grasos omega-3, esenciales para la sa-

lud. Semillas, frutos secos y aceites hortalizas pueden desempeñar un papel clave en este equilibrio, asegurando una dieta saludable sin depender exclusivamente del pescado.

El descenso en 2050 en el consumo de pescado y huevos, aunque no suponga su eliminación pese a su descenso, no debería suponer una preocupación desde el punto de vista nutricional, pues los requerimientos proteicos se verían perfectamente cubiertos por la ingesta de legumbres y frutos secos, cuyo consumo aumentaría considerablemente respecto a lo que ocurre en la actualidad.

5.4. Los impactos ambientales

5.4.1. Las emisiones de gases de efecto invernadero

5.4.1.1. La producción agropecuaria

El proceso de externalización de impactos del sistema productivo español implica que el sector agropecuario externaliza de manera muy relevante sus emisiones, con 34,2 millones de toneladas de CO₂eq producidas por piensos en el extranjero para alimentar la maquinaria productiva de la cabaña ganadera española, que se complementan con 11,1 millones de toneladas de CO₂eq adicionales por la producción de piensos en España. Este valor resulta de relevancia, precisamente por representar el 51% de las emisiones de este sector, que en conjunto arroja un valor de 88 millones de toneladas de CO₂eq.

El panorama para 2050 en el modelo continuista (BAU) augura que las emisiones se incrementarán un 11% hasta los 97,8 millones de toneladas de CO₂eq, donde se incrementan principalmente las categorías con mayor contribución: los piensos importados (+4%, 35,5 millones de toneladas de CO₂eq) y los piensos de producción nacional (+103%, 22,5 millones de toneladas de CO₂eq). Apenas se observan descensos en la producción vegetal (-10%, 21,9 millones de toneladas de CO₂eq), y en el balance de carbono en suelos cultivados (-17%, aunque solo supongan 0,9 millones de toneladas de CO₂eq). Las emisiones directas ganaderas permanecerían prácticamente iguales (-2%, 16,9 millones de toneladas de CO₂eq).

Un horizonte ampliamente distinto sería en el modelo de transición BIO+, donde se observa una diferencia del 95% menor que en el caso del BAU, con un valor total de 4,8 millones de toneladas de CO₂eq. El mayor cambio se observa en el balance de carbono en suelos de cultivo, que pasar a ser sumidero de carbono con 13,5 millones de toneladas de CO₂eq, un efecto sumamente importante si

lo que se quiere es disponer de un modelo productivo que garantice la sostenibilidad. Asimismo, la producción de piensos asociada a los recursos disponibles en España también se convertiría en un sumidero de carbono, con un valor de -10,2 millones de toneladas de CO₂eq (145% menor que en el caso del BAU para ese hito temporal), mientras que la producción vegetal reduciría de manera relevante sus emisiones (3,4 millones de toneladas de CO₂eq, lo que supone un 84% menos que en el BAU). Por lo tanto, la transformación del sistema productivo puede no solo relocalizar las emisiones, sino convertir al sistema alimentario en España en un mitigante del cambio climático.

5.4.1.2. El sector extractivo y de procesamiento marino

La estructura actual del sistema pesquero español, basado de forma predominante en la captura en caladeros lejanos y la importación y exportación de productos frescos y transformados, supone unas emisiones considerables que alcanzan los 13,1 millones de toneladas de CO₂eq. En general, la dependencia de combustibles fósiles de la flota pesquera y el transporte, junto con los procesos de refrigeración y transformación industrial de los productos del mar y la acuicultura, incrementa de manera notable las emisiones totales del sector (Avadí y Fréon, 2013; Greer et al. 2019; Martins Aragão et al. 2022).

El análisis detallado de las emisiones del sistema pesquero español indica que la mayor parte provienen de la combinación de las capturas procedentes de la pesca industrial de buques congeladores y las importaciones de terceros países. En primer lugar, los buques industriales de arrastre y cerco de la flota española, que capturan peces demersales y pelágicos en caladeros lejanos, generan una cantidad significativa de emisiones debido al alto consumo de combustible y la necesidad de mantener la refrigeración del producto a bordo. En segundo lugar, las importaciones representan una fracción sustancial de las emisiones del sistema alimentario, ya que también provienen mayoritariamente de flotas industriales y están asociadas al transporte de largas distancias desde los países de origen. La combinación del consumo de combustibles fósiles para el desarrollo de las actividades de pesca y en el transporte, junto con la infraestructura logística necesaria para la conservación y distribución de los productos, contribuye significativamente a la huella ambiental del sistema alimentario pesquero español.

5.4.1.3. La alimentación

El funcionamiento de las cadenas de valor que abastecen la alimentación en España supone un valor de 107,2 millones de toneladas de CO₂eq, principalmente debido a la actividad agrícola (35%, 37,9 millones de toneladas de CO₂eq), ganadera (24%, 25,9 millones de toneladas de CO₂eq) y el transporte (21%, 22,2 millones de toneladas de CO₂eq). La pesca supone 8,6 millones de toneladas de CO₂eq mientras que la industria asciende a 3,4 millones de toneladas de CO₂eq, lo

que suponen un 8% y 3% respectivamente. Solo la categoría asociada a las variaciones del carbono en suelos no cultivados presentan emisiones negativas (-1,4 millones de toneladas de CO₂eq). Como indicamos con anterioridad, en la actualidad las emisiones asociadas a actividades realizadas en el extranjero suponen el 63% de las emisiones asociadas a la alimentación (67,3 millones de toneladas de CO₂eq). Si consideramos las emisiones por producto, la carne es la gran protagonista, con 43,4 millones de toneladas de CO₂eq, seguido de los lácteos, con 18,7 millones de toneladas de CO₂eq. Cabe destacar que en el caso de la carne, el 60% de dichas emisiones se encuentran asociadas al componente internacional, mientras que en el caso de los lácteos asciende al 65%. Para la agricultura, el 44% de las emisiones sucede en el extranjero (16,7 millones de toneladas de CO₂eq). Por tanto, podemos observar cómo la alimentación sostenida actualmente en España depende en gran medida de un conjunto de emisiones que ocurren en el extranjero, con la actividad agrícola dedicada a la producción de piensos, así como la propia actividad ganadera, como los grandes protagonistas, en línea con lo que indican otros estudios (aan den Toorn et al., 2019; Notarnicola et al., 2017; Weis, 2013).

En lo referente a productos marinos, la globalización del comercio de productos del mar y la acuícola tiene una fuerte implicación en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente por el transporte a largas distancias, la pesca industrial en zonas lejanas, la refrigeración y el procesamiento (Clune et al., 2017; Parker et al., 2018). Además, el comercio internacional de productos del mar está estrechamente ligado a la sostenibilidad de las pesquerías y la sobreexplotación de recursos (Elsler et al., 2023; Gephart y Pace, 2015; Klein et al., 2021).

La continuidad de este modelo de alimentación queda reflejado en el modelo BAU que, como modelo continuista, arroja un valor 7% superior a la actualidad (115 millones de toneladas de CO₂eq) para 2050, donde los productos cárnicos y la componente internacional continúan siendo protagonistas. En este caso, en el hito 2050 las emisiones negativas asociadas a las variaciones del SOC en tierras no cultivadas desaparecen, por lo que efectivamente dejan de ocurrir captaciones de carbono en este componente. Además, para los cambios de uso del suelo (LULUF) se observa que arrojan un incremento del 166% para el hito 2030 y un 197% para 2050. De esta manera, para poder reducir las emisiones del consumo alimentario en España es necesario plantear alternativas que se alejen del modelo continuista.

El modelo BIO+ planteado aquí obtiene valores que, para el horizonte 2050, supondrían emisiones negativas, con un valor de -17,1 millones de toneladas de CO₂eq, con lo que la alimentación en España sería netamente captadora de emisiones de gases de efecto invernadero. Mientras que la actividad agrícola reduciría un 84% las emisiones con respecto a la actualidad (4,3 millones de toneladas de CO₂eq), la ganadería lo haría un 43%, hasta alcanzar los 14,7 millones de toneladas de CO₂eq. El transporte reduciría un 95% sus emisiones hasta alcanzar las 1,2 millones de toneladas de CO₂eq, y la actividad

pesquera un 93% (0,6 millones de toneladas de CO₂eq). En cuanto a emisiones negativas, el cambio de uso del suelo supone un valor de -29,9 millones de toneladas de CO₂eq, y el balance de carbono en los suelos agrícolas alcanza -9 millones de toneladas de CO₂eq. A ello hay que añadir el valor negativo del balance de carbono en suelo no cultivado, con un valor de -0,3 millones de toneladas de CO₂eq. Desde un punto de vista geográfico, el hito 2050 para este modelo supondría la captación de 25,8 millones de toneladas de CO₂eq en terceros países consecuencia de eliminar el acaparamiento de recursos en el extranjero, mientras que las emisiones en España se reducirían un 78% hasta alcanzar 8,7 millones de toneladas de CO₂eq. Por lo tanto, una transición ecológica de gran calado podría convertir el sistema alimentario en España en una herramienta fundamental de cara a mitigar el cambio climático, además de conseguir alimentar a la población con dietas mucho más sostenibles y saludables.

5.4.2. Huella hídrica

El caso del agua, tanto en su dimensión cuantitativa como cualitativa, llama la atención sobre las grandes repercusiones que traería el no hacer nada (BAU) en un contexto en el que las tendencias del cambio climático son consistentes para España en que son esperables mayores temperaturas y menor precipitación. No hacer nada a futuro significa aumentar la tensión de consumo de agua entre 5-16% respecto a la línea base, con la agravante de incrementar el problema de disponibilidad por los impactos de la contaminación por nitratos y plaguicidas, problema ambiental que ya en la actualidad está trayendo serias repercusiones para la salud de las personas y de los ecosistemas (Tortosa et al., 2011; Espejo-Herrera et al., 2015; Olea, 2021; Peris et al., 2023). Los resultados de la situación actual y de las simulaciones muestran que la producción primaria de alimentos depende en gran parte de los cultivos de secano (ver resultados de huella hídrica verde), los cuales en un contexto de menor disponibilidad de recursos hídricos les hará aún más vulnerables por la reducción de la pluviometría en los escenarios climáticos proyectados por el IPCC.

La clave fundamental para aumentar su capacidad adaptativa y resiliencia es la transición hacia cultivos en ecológico (BIO) en la medida que el manejo de coberturas, las rotaciones, el reciclado de residuos de cosecha, y demás prácticas agroecológicas que mejoran el contenido de materia orgánica, contribuirán a una mejora de la estructura del suelo, contribuyendo a una mejor retención de agua. Por el contrario, el no hacer nada (BAU) agravaría el problema ya que la dependencia del mantenimiento del ciclo de nutrientes a partir de agroquímicos afecta la estructura del suelo y les hace más dependientes de las necesidades de agua, a la par que se está generando un impacto negativo en la calidad del agua con repercusiones en la salud humana y de los ecosistemas, como se señaló anteriormente. De los resultados obtenidos, se muestra claramente que mientras en el

BAU se mantiene la tendencia actual de contaminación por nitratos, en el BIO las reducciones son significativas en un rango medio entre el 20% y el 57% para los respectivos hitos temporales de 2030 y 2050.

Territorialmente, los impactos actuales y futuros, tanto cuantitativos como cualitativos, se concentran mayoritariamente en unas provincias, todas ellas asociadas a la región climática mediterránea, siendo relevantes por su peso del total las pertenecientes a las comunidades autónomas de Andalucía, Cataluña, Murcia, Comunitat Valenciana y las dos Castillas. En cuanto a los resultados de la transición agroecológica, los resultados muestran que es viable mantener unas productividades altas, con consumos de agua (huella hídrica azul total de +10% respecto la línea base) y lixiviación de nitratos a los acuíferos (huella hídrica gris total reduciendo un 57% respecto la línea base) menores que en el BAU a 2050. Lo anterior es muy relevante ya que, como se comentó previamente, hay una relación intrínseca entre el manejo de los cultivos, la estructura del suelo y la capacidad de retención de agua en el suelo. Mientras en el BAU la situación puede ir a peor respecto de las necesidades de agua de los cultivos, en el BIO dicha situación mejora, a la par que mejoran ostensiblemente las condiciones de calidad al reducirse la carga contaminante por nitratos, además del resto de agroquímicos. Respecto a las categorías de cultivos con mayor huella hídrica, se ha identificado que los que mayor aporte tienen, especialmente de la huella hídrica gris son los cereales, cítricos, forrajeros, olivar, característica que se magnifica si no se hace nada (BAU 2030 y 2050), mientras que en la transición agroecológica se mantiene la tendencia con valores similares excepto los cereales que caen casi a la mitad (BIO 2030), y en el BIO 2050 en general se reducen en torno a un 50% salvo los cereales que se reducen en un orden de magnitud respecto de la línea base.

5.4.3. El empleo

Hoy en día, menos de un cuarto de los empleos asociados a la alimentación en España ocurren verdaderamente en España. Así, la estimación resulta en 1,64 millones de personas, de las que solo 0,43 se encuentran vinculadas al territorio.

El modelo continuista BAU prevé un descenso del 1% del empleo (1,62 millones de empleos), con un descenso del 4% del empleo asociado a terceros países (1,17 millones de empleos) y un incremento del empleo nacional en un 6%, aunque esto suponga 0,03 millones de empleos adicionales. La profunda crisis sistémica a la que nos enfrentamos en el medio rural plantea la problemática de la despoblación rural y la necesidad de alternativas, donde el sector agroalimentario productivo debería ser motor de cambio hacia empleos justos y calidad de vida. Esta enorme descentralización de la mano de obra que nos alimenta en la actualidad tiene del otro lado un gran potencial relocalizador de la riqueza a través de la creación de empleo si se plantea una transición justa. En este sentido, el modelo BIO+ arroja valores

de relocalización intensa del empleo en España, con un valor total de 0,97 millones de empleos. Así, mientras el empleo internacional caería un 68% con respecto a la actualidad (0,39 millones de empleos), desapareciendo el empleo internacional de la actividad pesquera y ganadera, el empleo en España crecería un 35% (0,58 millones de empleos).

En términos de actividad, el empleo del sector agrícola descedería en el modelo BIO+ un 59% procedente de terceros países (0,39 millones de empleos). En España se estima un descenso de la actividad ganadera del 22% con respecto a la actualidad (0,12 millones de empleos, principalmente asociada a la ganadería extensiva de medianos rumiantes), mientras que la actividad agrícola arroja un incremento del 75% del empleo (0,43 millones de empleos). La eliminación de una parte importante de las capturas pesqueras y de la reducción de la industria del procesamiento implica la caída del empleo del 49% con respecto a la actualidad en esta rama del sistema alimentario, oscilando entre los 52.285 empleos para el escenario SSP1-RCP2.6 y los 53.658 en el SSP5-RCP8.5. El resultado final es que, mientras en la actualidad el 74% del empleo se encuentra en terceros países, en el modelo BIO+ tenemos que solo un 40% sería internacional para el hito 2050.

5.5. El modelo BAU no es la solución

Como hemos visto, la destrucción de empleo agrario y de explotaciones, mayoritariamente familiares, el envejecimiento de los agricultores y la falta subsiguiente de relevo generacional, están cambiando la faz del sector: de un modelo basado en la vinculación estrecha entre el manejo del agroecosistema y la economía familiar, se está transitando a un modelo basado en grandes explotaciones en manos de un número cada vez mayor de sociedades mercantiles o empresas de gestión de tierras con un peso cada vez mayor del trabajo asalariado y temporero. Entre tanto, muchas explotaciones de tamaño medio subsisten gracias al aumento de la renta empresarial a costa de los salarios. Ello ha sido posible gracias a la mano de obra migrante, que sujeta a marcos legislativos que les empuja a la precariedad, se ven forzados a aceptar condiciones salariales y de vida mucho peores. La previsión es que esta tendencia de sustitución de trabajo familiar por trabajo asalariado continúe, dado que las posibilidades de disminuir los salarios aumentan con el empleo de temporeros migrantes. La participación de los asalariados en la renta agraria refleja sólo parcialmente este fenómeno, máxime cuando prolifera en el sector una cantidad desconocida de trabajo prestado por migrantes en situación de irregularidad que las fuentes estadísticas no recogen (Caritas, 2020).

Algo similar viene ocurriendo en el sector pesquero, donde el envejecimiento y la concentración en artes intensivas que capturan en aguas extranjeras resulta ser la tendencia y, por lo tanto, de no cambiarse las cosas profundizará la muerte del sector. Las artes menores, con mayor peso en caladeros nacionales, se encuentran en crisis

por la extenuación de los caladeros y los efectos del cambio climático sobre la biomasa disponible no auguran un cambio de tendencia, más bien al contrario: de no tomarse medidas de transición, el sector pesquero de las costas del país se verá abocado hacia su desaparición. Además, la baja rentabilidad empuja hacia los procesos de intensificación pesquera de manera similar a como ocurre en el sector agrario, y las únicas salidas que se plantean se apoyan en la tecnificación e intensificación de los procesos de captura. Esta tónica se repite en la producción acuícola, altamente dependiente de piensos y con bajos niveles de empleabilidad, lo que no supone una alternativa al proceso de deterioro de las cadenas alimentarias pesqueras.

Si las cosas no cambian, caminamos hacia un modelo de “agricultura sin agricultores”, “ganadería sin ganaderos” y de “pesca sin pescadores” basada en explotaciones de dimensión cada vez más grande, cada vez más tecnificado y con cada vez menos participación humana en trabajo y conocimiento del medio, puede hacerse cargo del mantenimiento de los bienes fondo biofísicos, garantizando la prestación óptima de los servicios ecosistémicos. Este es el futuro a que nos aboca el modelo BAU, cuyos principales indicadores hemos comentado más arriba. Partimos de una evaluación muy conservadora, de mera continuidad, pero es previsible que las cosas empeoren sustancialmente. La principal amenaza es el cambio climático, que va a reducir la producción agrícola, ganadera y pesquera y que aumentará la inestabilidad en los precios, habida cuenta de la menor disponibilidad de alimentos y la orientación exportadora del sector agrario español. El mantenimiento de la especialización agraria hará aún más grave la falta de autonomía alimentaria y la dependencia de los mercados internacionales de alimentos que es previsible que sufran también los efectos del cambio climático y se reduzca la producción alimentaria global. La creciente demanda de carne, que se prevé aumente sustancialmente en 2050, y la consiguiente orientación de la producción agrícola hacia la alimentación animal, agravará la volatilidad de los precios y aumentará la inseguridad alimentaria del país. Los daños ambientales que produce el mismo modelo industrial harán cada vez más hostil la práctica de la agricultura y de la ganadería, y deteriorando los servicios ecosistémicos que prestan los agroecosistemas y que en España son esenciales. Esta situación se replica en las cadenas pesqueras, donde el cambio climático y la debilidad sectorial profundizará la dependencia de piensos para la producción acuícola y de importaciones y/o capturas en aguas extranjeras, precisamente por el impacto en la biomasa capturable del cambio climático. El análisis del modelo BAU revela que la estrategia actual de la pesca española es insostenible tanto desde una perspectiva ambiental como socioeconómica, perpetuando la dependencia del comercio global y sus impactos asociados.

El cambio hacia el modelo BIO no es un capricho o una estrategia comercial para competir en los mercados internacionales con productos de calidad, es una necesidad acuciante, un objetivo irrenunciable que debe comenzar a construirse desde hoy mismo. Los re-

sultados obtenidos de la modelización que hemos realizado, también conservadora, muestran que esta es la única manera de preservar los bienes fondo, los agroecosistemas y los ecosistemas en general, sino también de contribuir a la solución de la crisis global y dotar al país de la imprescindible autonomía alimentaria. La implantación del modelo BIO+ implicará la reconversión de la producción convencional en ecológica, logrando que a mediados de siglo la totalidad de la producción se haya reconvertido, mientras que en lo que se refiere a las cadenas pesqueras, ofrece una alternativa que fortalece la resiliencia del sector mediante la relocalización de las capturas, el desarrollo de la acuicultura sostenible y la reducción de las emisiones de carbono. Implementar esta transformación requerirá cambios en la regulación, incentivos económicos y un apoyo estructural para favorecer la producción nacional y el consumo de productos frescos y de bajo impacto ambiental. Para ello será necesario una política decidida de fomento de la transición, de la que hablaremos a continuación.

6. CONCLUSIONES

Este presente informe demuestra los severos impactos negativos del sistema alimentario español para el medio ambiente y la salud de las personas, tanto por su modelo productivo predominante, como por la dependencia de flujos comerciales a escala global y los patrones de consumo asociados. A su vez, identifica dos aspectos críticos del funcionamiento actual del sistema alimentario que lo convierten en un sistema altamente vulnerable y que ponen en entredicho su continuidad en el tiempo: 1) la alta dependencia de importaciones de materias primas para el funcionamiento de las cadenas alimentarias, sobre todo ganaderas y pesqueras, y simultáneamente la dependencia de las exportaciones de un grupo reducido de productos en los que se concentra el grueso de los ingresos monetarios del comercio exterior alimentario; 2) la sobre-utilización de los recursos naturales comprometiendo su viabilidad futura. Esta situación, que amenaza con el riesgo de colapso socio-ambiental, se mantiene gracias al marco institucional vigente, que promueve y fomenta la pervivencia de un modelo productivo claramente insostenible a la vez que bloquea la transición hacia modelos alternativos de producción y consumo.

En la producción aún es patente la dualidad de modelos de funcionamiento: de un lado, la agricultura familiar, la ganadería extensiva y la pesca de artes menores y, del otro, empresas cada vez más grandes que practican modelos intensivos centrados en el regadío, la pesca industrial en aguas extranjeras, la producción cárnica industrial y la producción hortofrutícola de exportación. El marco legislativo, que fomenta la orientación de la actividad agraria y pesquera hacia mercados globales dominados por una competencia desigual basada en criterios puramente económicos, permite que estas grandes empresas se centren en la producción de mercancías (y no alimentos), mientras dominan y amplían su modelo. Del otro lado, la agricultura familiar, la ganadería extensiva y la pesca artesanal se encuentran en claro retroceso por la crisis de rentabilidad que enfrentan, abocadas a una competencia desleal que pone en cuestión su propia existencia y/o les empuja hacia procesos de intensificación. Esta situación resulta aún más grave si consideramos que los modelos en retroceso resultan ser los principales proveedores de servicios ecosistémicos, son los responsables de fijar población en el medio rural y costero, y además albergan los conocimientos bioculturales necesarios para adaptarse mejor al cambio climático y a las condiciones biorregionales dentro del clima mediterráneo. De continuar esta tendencia, las consecuencias serán aún de mayor calado si consideramos el conjunto de beneficios que estas actividades generan a la

sociedad y que no se encuentran adecuadamente reconocidos. De no revertir la situación nos veremos abocados a la hegemonía de un modelo productivo desvinculado del territorio y de las personas, con altos impactos ambientales, que utiliza recursos de manera desmedida; un modelo en el que la tecnificación de la agricultura, ganadería y pesca promueven activamente el vaciamiento rural y la pérdida de conocimientos bioculturales, claves para los agroecosistemas y ecosistemas marinos. Asimismo, el desacoplamiento de la alimentación del territorio está teniendo consecuencias claras sobre los patrones de consumo actuales, que distan de ser saludables, y que además exponen a la población española a contaminantes y tóxicos con graves consecuencias para la salud por su contenido en plaguicidas y otros productos identificados como nocivos para la salud humana y la de los ecosistemas, como es el caso de los nitratos. En definitiva, la intensificación productiva en el campo y el mar, la promoción de acuerdos comerciales que externalizan los impactos ambientales y benefician a la producción industrial, y el cambio hacia modelos de consumo poco saludables, son constitutivos del mismo sistema alimentario, y que por lo tanto precisa cambios urgentes y profundos en su funcionamiento.

Este informe también demuestra que la continuidad del modelo de producción y consumo actual (BAU), en un contexto de cambio climático, dibuja un escenario mucho peor que en absoluto puede mantenerse. El modelo BAU perpetúa la dependencia del comercio global y la explotación de los recursos naturales en terceros países, manteniendo un sistema insostenible que debilita la producción local mientras sigue explotando los recursos exteriores. Los indicadores empleados en este informe confirman que, de no modificarse nada, en 2050 nos veríamos abocados a una situación de emergencia socio-ambiental. De mantenerse, el manejo convencional y los sistemas de regadío: 1) sobrepasarían aún más los límites que hoy en día ya se superan según las cifras oficiales de uso del agua⁶, y 2) incrementaría el impacto ya generado por el lixiviado de nitratos y plaguicidas a las aguas subterráneas, donde algunas masas de agua ya se encuentran en riesgo por incumplimiento de los objetivos ambientales planeados⁷. El incremento de la intensidad productiva, con mayores aplicaciones de productos de síntesis química por hectárea, no impediría una caída de la producción y de los rendimientos del 8%, y una caída de la Productividad Primaria Neta (PPN) del 7% para 2050 en cualquiera de los escenarios climáticos analizados. Esta caída favorecería aún más el abandono del campo y agravaría el despoblamiento rural hasta niveles de práctica desertificación. Por otro lado, el deterioro de los suelos y los efectos del cambio climático impactarían de manera tal en el balance de carbono que incrementaría las emisiones un 8% con respecto a la actualidad, necesitando incrementar un 11% la superficie apropiada de terceros países sólo para atender la alimentación en España. En cuanto a los recursos pesqueros, la dependencia del comercio global y la explotación en terceros países resulta más intensa bajo las proyecciones climáticas, mostrando el declive del sector pesquero con una reducción de las capturas y una acuicultura basada sobre todo en

⁶ [Aquí](#)

⁷ [Aquí](#)

piensos en el modelo BAU, lo que acentúa la dependencia, aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero e incrementa la vulnerabilidad de la pesca y acuicultura ante crisis económicas y ambientales o cambios geopolíticos. Todo ello asociado a unas cadenas de valor del sistema que desperdician el 25% del total de alimentos producidos. Del lado del consumo, la intensificación de la producción en el modelo continuista BAU implica un mayor uso de fertilizantes y plaguicidas por hectárea, que con toda probabilidad incrementarán la exposición a este tipo de tóxicos, empeorando la presencia actual de contaminantes acumulados en tejidos humanos, más aún si consideramos la pasividad de las administraciones a la hora de controlar la exposición a estos contaminantes a través de la alimentación. Las dietas de la población española, tanto en la actualidad como en el modelo BAU para 2050, resultarían excesivas en cuanto al aporte energético (+30% con respecto a lo recomendado), y al consumo de varios grupos de alimentos: carne (+360% de las recomendaciones saludables), lácteos (+100%), aceites (en su mayoría refinados, +70%), pescado (+70%), mientras que resultaría deficitaria en legumbres (-70%) y verduras y frutas (-40 y -10% respectivamente). Por tanto, y centrándonos en los resultados obtenidos, la continuación del modelo actual provocaría importantes daños en los agroecosistemas y ecosistemas marinos del país, de terceros países, y en la salud de las personas.

Ante esta situación resulta evidente, y urgente, iniciar una transición alimentaria hacia un modelo productivo basado en recursos endógenos, centrado en la sostenibilidad a largo plazo, que permita abastecer a la población con dietas saludables y locales, reduciendo al máximo los riesgos para la salud, y que priorice el derecho a la alimentación por encima de la acumulación de riqueza. La transición hacia este horizonte sólo será posible si se adoptan cambios en la producción y el consumo de manera articulada; es decir, no se puede cambiar lo que se come sin cambiar qué y cómo se produce, y viceversa.

Con el propósito de orientar la transición se ha propuesto un modelo de transición (modelo BIO+) en el que se recogen un conjunto de asunciones en la producción y el consumo, y se analizan las repercusiones de los potenciales cambios en el conjunto de indicadores establecidos. Este modelo tiene como principales asunciones:

- La reconversión de la agricultura y la ganadería convencionales en ecológica, implementando dentro de ellas los mejores manejos asociados al enfoque agroecológico (cubiertas vegetales, aprovechamiento de subproductos de cosecha, mejora en el reciclaje alimentario, implementación de variedades y razas tradicionales, rotación y asociación de cultivos, etc.).
- La promoción y recuperación de los cultivos de leguminosas como forma de reorientar la producción y la mejora de los suelos.

- La optimización del uso de agua, limitando los regadíos a la capacidad de abastecimiento de las Demarcaciones Hidrográficas y promoviendo los cultivos de secano con variedades tradicionales como herramienta de adaptación y generación de resiliencia frente al cambio climático.
- La rearticulación en el territorio de los paisajes agrarios, implementando sistemas de ganadería extensiva y reciclaje de nutrientes con la producción agrícola. Esto implica la desaparición de la ganadería intensiva.
- La relocalización de la producción de la pesca y la acuicultura en el territorio nacional, la diversificación del sector pesquero con artes más selectivos, el impulso de una pesca sostenible de cercanía, y el fortalecimiento de la acuicultura de bivalvos de bajo impacto ambiental. Esto implica la eliminación de la pesca industrial (arrastre, palangre de superficie y cerco).
- La transformación de los flujos comerciales, orientando sus flujos prioritariamente hacia la satisfacción de la demanda alimentaria interior y reduciendo sustancialmente las importaciones (salvo excepciones de productos que han arraigado en la dieta y no son producidos en España, como el café o el chocolate).
- Un cambio en la composición de la dieta de la población, adoptando pautas de consumo saludables, según las recomendaciones dietéticas de la Comisión EAT-Lancet. Se prioriza, además, el consumo de productos frescos, de proximidad y de temporada para reducir la huella de carbono.

El modelo BIO+ impacta en el conjunto de indicadores ambientales de forma significativamente positiva. De un lado, la supresión del uso de plaguicidas y fertilizantes mejora la abundancia de grupos funcionales en cuanto a biodiversidad se refiere, tanto por reducir su mortalidad como por favorecer que la fracción de la PPN recirculante esté disponible para alimentar a las especies heterótrofas y la biodiversidad edáfica. A ello contribuye la implementación de manejos agroecológicos como las cubiertas vegetales, las variedades tradicionales y la fertilización orgánica de residuos compostados, que en conjunto resultan en un aumento del 12% de la PPN respecto al BAU. Además, la no aplicación de componentes de síntesis reduce la potencial exposición a través de la alimentación a tóxicos con efectos nocivos para la salud humana. La producción agrícola para 2050, fuertemente afectada por el cambio climático, caería en menor medida que en el modelo BAU, con un 2% de mayor producción en el caso del BIO+. Cabe destacar el papel que jugarían los secanos, que en el modelo BIO+ incrementan sus rendimientos un 2% mientras que en BAU descienden un 8%. Las variedades tradicionales y la recuperación de las leguminosas implementadas en este modelo, principalmente vinculadas con el

secano, resultan ser clave frente a los efectos del cambio climático por su potencial mitigante y por fomentar la reposición de materia orgánica como estrategia de reposición de la fertilidad. Asimismo, la diferencia reflejada en el incremento de los rendimientos en cultivos irrigados en el BIO+ (+7% con respecto a la actualidad) frente al BAU (-1%), dan muestra del papel de las cubiertas vegetales y los manejos ecológicos en la transición. Este modelo alternativo supondría un 70% más de Carbono (C) que en el modelo BAU gracias a la recirculación de nutrientes en el suelo, optimizando el uso del agua gracias a la materia orgánica disponible en los suelos. En términos del ciclo del Nitrógeno (N) también se notan importantes mejoras, que reducen un 52% de utilización de este elemento y queda completamente restringido al disponible en el territorio estatal. Este hecho repercute positivamente en la contaminación por nitratos, con reducciones significativas llegando incluso a la mitad, y disminuyendo significativamente la huella hídrica gris (-50%). Todo ello en contraste con el modelo BAU en el que la huella gris apenas varía.

En términos de huella hídrica total, se observa una caída del 50% con respecto a la actualidad y el modelo BAU en 2050. Este modelo generaría un 50% más de empleos en el sector agropecuario que en la actualidad (1,2 millones de UTAs) y, aunque en el sector pesquero se plantee un descenso en el empleo total, la empleabilidad por tonelada capturada se incrementaría un 40%. Es destacable la enorme diferencia existente en la proyección de emisiones para 2050 entre los modelos productivos agrarios, ya que el modelo BAU arroja valores de 43,7 mil toneladas de CO₂eq (millones de toneladas de CO₂eq), mientras que el modelo BIO+ podría configurar el sistema alimentario de manera que hubiera un secuestro neto de carbono de -16,5 millones de toneladas de CO₂eq. A ello hay que añadir el descenso del 88% que experimentarían las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al sector pesquero. Si consideramos la alimentación en España, la diferencia es todavía más importante: mientras que el BAU supondría 115,7 millones de toneladas de CO₂eq, en el modelo BIO+ el sistema sería captador neto de emisiones (-17,1 millones de toneladas de CO₂eq). En términos de huella territorial, el modelo BIO+ ahorraría un 38% de superficie ocupada, de las que 0,7 millones de ha serían liberadas en territorios de terceros países, y en término de empleo, significaría una relocalización del empleo agrícola y ganadero generando 0,58 millones de empleos, mientras que en el modelo BAU sería de 0,46 millones de empleos. El desperdicio alimentario se reduciría al 14% para 2050, lo que supone una diferencia del 62% con respecto al modelo BAU. La composición de la dieta cambiaría sustancialmente, con un 52% más de frutas, un 200% más de legumbres, y un 100% de verduras, mientras se produciría una reducción del 80% del consumo actual de carne, del 50% de lácteos, del 23% de aceites, del 50% de huevos, del 50% para azúcares y del 70% de pescado y marisco. Todo ello alcanzaría los estándares dietéticos relacionados con una alimentación saludable.

Se producirían, además, varios impactos positivos del modelo BIO+ que merecen la pena destacar. Dado el impacto ambiental del sistema alimentario, estrechamente vinculado a las cadenas cárnicas en la actualidad, conviene señalar el papel que tendría tanto la transformación de la alimentación animal como su propia composición. De un lado, la transición hacia sistemas silvopastoriles permitiría el aprovechamiento óptimo de la biomasa disponible en pastos y los diferentes tipos de montes, lo que reduciría drásticamente la necesidad de materias primas importadas, a la par que reduciría los incendios por un mejor control de la frondosidad de la superficie boscosa,. Este efecto sustitutivo resulta muy importante en la cabaña de rumiantes, precisamente porque el cambio en las dietas permitiría sostener un 7% más de bovino y un 83% de caprino/ovino, mientras se debería reducir drásticamente la cabaña porcina y avícola. De esta manera, la modificación de la alimentación animal, del manejo ganadero y de la composición de la cabaña, serán posibles mediante la reterritorialización productiva de la actividad ganadera. Estos incrementos productivos sólo serán posibles si se transita hacia modelos de aprovechamiento extensivo apoyado en razas tradicionales adaptadas a los territorios.

El cambio en la cabaña ganadera y la incorporación de las leguminosas como pilar de la transición repercuten de manera efectiva en las dietas. El cambio en el perfil proteico de origen animal permite modificar la composición de ácidos grasos hacia una composición más equilibrada y sana por proceder de una cabaña extensiva alimentada con una aportación considerable de pasto en comparación con los productos animales de las dietas actuales (Gutiérrez-Peña et al., 2018). Además, la incorporación de las leguminosas permite un adecuado abastecimiento de proteína con un mayor componente vegetal. Las leguminosas y la ganadería extensiva tienen, además, un efecto sobre el modelo productivo al convertirse en un pilar fundamental para la mitigación del cambio climático y para la reposición de nutrientes en los agroecosistemas. Además de ello, repercuten de manera significativa garantizando empleos en el medio rural como forma de transición justa y de revitalización socioeconómica, precisamente por encontrarse asociados a los modelos de la agricultura familiar. Otro aspecto fundamental es el cambio en los perfiles lipídicos procedentes de los aceites que, si bien no representan cambios abruptos en cuanto a la aportación a las dietas, si suponen modificaciones sustanciales en cuanto a la composición de los aceites. Así, el Aceite de Oliva Virgen Extra pasa a ser el protagonista en las dietas, descendiendo los aceites refinados de semillas, lo que repercute en unos perfiles lipídicos mucho más saludables.

No obstante, el modelo BIO+ también contiene limitaciones. De un lado, la reducción drástica en el sector pesquero debida a la eliminación de la pesca industrial de arrastre y cerco, la acuicultura de peces, y las importaciones, implicaría una reducción de la disponibilidad de alimento de productos del mar. Esta drástica caída del consumo repercutiría en la dieta de la población hasta el punto de que no sería posible alcanzar las recomendaciones dietéticas saludables en algu-

nos grupos de alimentos. Pero la situación actual es claramente insostenible, dado el enorme volumen de biomasa pesquera apropiada en aguas de terceros países, que compone el grueso de las dietas actuales, completamente sobredimensionadas (77% de origen terceros países y/o aguas internacionales). El modelo BIO+ debe, pues, apostar por una reducción de las capturas en caladeros internacionales y de la dependencia de las importaciones, optando por una pesca y producción acuícola local sostenible, con una menor huella de carbono y mayor resiliencia ante desafíos climáticos y económicos futuros, aunque no se pueda cumplir con las recomendaciones de algunos grupos de alimentos y se reduzca de manera significativa el empleo pesquero y de la industria de la transformación actual. No obstante, el análisis realizado sobre las dietas obtenidas muestran que el modelo BIO+ arroja dietas equilibradas y saludables y, en lo que a empleo se refiere, existe el potencial de reconversión de los sectores, viendo incrementado la demanda de empleo en la transición en términos totales. En este sentido, el modelo BIO+ aboga por la sostenibilidad ecológica por encima de la rigidez en las recomendaciones nutricionales específicas del componente marino.

Por último, el modelo BIO+ plantea un sistema alimentario viable, que promueve el consumo sostenible y saludable y contribuye a modificar el ordenamiento comercial de las cadenas de valor. En este sentido, los resultados indican que, para 2050, el modelo BIO+ permitiría mantener flujos comerciales internacionales aunque de manera muy limitada, es decir, priorizando el consumo alimentario saludable y sostenible como pilar de la transición, y anteponiendo dicha prioridad por encima del carácter agroexportador del sistema alimentario en España.

En este informe se han propuesto escenarios que empujan en la dirección de un cambio muy significativo en la configuración actual del sistema alimentario en España. Una vez demostrada la inviabilidad del modelo actual y de su continuidad en el futuro, hemos propuesto una opción de modelo alternativo (BIO+) en el que se deben producir cambios sustanciales en el manejo de los agroecosistemas y los sistemas marinos, en la composición de la producción agraria y pesquera, en el ordenamiento y manejo de las cadenas de distribución y, finalmente, en el consumo alimentario. Somos conscientes de las dificultades que entraña la necesaria reconversión del modelo actual y de los obstáculos legales y políticos que la transición hacia ese modelo tendrá que enfrentar. No obstante, hemos preferido plantear un escenario con criterios de sustentabilidad consecuentes basados en evidencia científica (ver [anexo metodológico](#)), más que plantear un escenario basado en las probabilidades de cambio, inherentemente especulativo. Así, esperamos que el modelo BIO+ sirva para orientar la discusión de la transición hacia un horizonte de sustentabilidad alimentaria y establecer una hoja de ruta con los cambios y políticas necesarias para alcanzarlo. De lo contrario, el camino al que nos abocamos se presenta catastrófico.

7. Referencias

- aan den Toorn, S. I., Worrell, E., & van den Broek, M. A. (2019). Meat, dairy, and more: Analysis of material, energy, and greenhouse gas flows of the meat and dairy supply chains in the EU28 for 2016. *Journal of Industrial Ecology*, 24, 601–614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12950>
- Abdou, K., Aubin, J., Romdhane, M. S., Le Loc'h, F., & Lasram, F. B. R. (2017). Environmental assessment of seabass (*Dicentrarchus labrax*) and seabream (*Sparus aurata*) farming from a life cycle perspective: A case study of a Tunisian aquaculture farm. *Aquaculture*, 471, 204-212.
- AECOSAN. (2019). Estudio ALADINO 2019: Estudio sobre Alimentación, Actividad Física, Desarrollo Infantil y Obesidad en España 2019. Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición.
- AEMET (2023). Evaluación de métodos de regionalización estadística para la generación de proyecciones climáticas en el marco del PNACC-2 2021-2030. Nota técnica 41 de AEMET. <https://archivo-proyecciones-climaticas.aemet.es/>. (Último acceso: 11 de agosto de 2024).
- Aguilera, E., Díaz-Gaona, C., García-Laureano, R., Reyes-Palomo, C., Guzmán, G.I., Ortolani, L., Sánchez-Rodríguez, M., Rodríguez-Estevez, V. (2020). Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. *Agr. Syst.* 181, 102809. <https://doi.org/10.1016/j.agrosy.2020.102809>.
- Alonso MB, Feo ML, Corcellas C, Vidal LG, Bertozi CP, Marigo J, et al. 2012. Pyrethroids: A new threat to marine mammals? *Environ Int* 47:99-106.
- Avadí, A., & Fréon, P. (2013). Life cycle assessment of fisheries: A review for fisheries scientists and managers. *Fisheries Research*, 143, 21-38.
- Avadí A., Vázquez-Rowe I., (2019). Life Cycle Inventories of Wild Capture and Aquaculture. ecoinvent Association, Zürich, Switzerland
- Bartram, H. Perkins, A. 2003. The biodiversity benefits of organic farming. In *Organic Agriculture: Sustainability, Markets and Policies*, OECD Publishing, Paris. pp. 77-94. <https://doi.org/10.1787/9789264101517-en>
- Beaumelle, L., Auriol, A., Grasset, M., Pavé, A., Thiéry, D., & Rusch, A. (2021). Benefits of increased cover crop diversity for predators and biological pest control depend on the landscape context. *Ecological Solutions and Evidence*, 2(3), 1-12. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12086>
- Bebber, D.P., Richards, V.R. 2022. A meta-analysis of the effect of organic and mineral fertilizers on soil microbial diversity. *Applied Soil Ecology* 175, 104450
- Bengtsson, J., Ahnström, J., Weibull, A. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42:261-269.
- Berman T, Goen T, Novack L, Beacher L, Grinshpan L, Segev D, et al. 2016. Urinary concentrations of organophosphate and carbamate pesticides in residents of a vegetarian community. *Environ Int* 96:34-40
- Bjorling-Poulsen, M., Andersen, H.R. and Grandjean, P. (2008). Potential developmental neurotoxicity of pesticides used in europe. *Environ Health*. 7, p.p. 50.
- Blanchard, J.L. & Novaglio, C., eds. 2024. Climate change risks to marine ecosystems and fisheries: Projections to 2100 from the Fisheries and Marine Ecosystem Model Intercomparison Project. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 707. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cd1379en>.
- Bradman, A., Quiros-Alcalá, L., Castorina, R., Aguilar Schall, R., Camacho, J., Holland, N.T, et al. (2015). Effect of organic diet intervention on pesticide exposures in young children living in low income urban and agricultural communities. *Environ Health Perspect.* 123(10), p.p. 1086-93.
- Bravo-Saquicela, D. M., Sabag, A., Rezende, L. F. M., & Rey-Lopez, J. P. (2022). Has the Prevalence of Childhood Obesity in Spain Plateaued? A Systematic Review and Meta-Analysis. *International journal of environmental research and public health*, 19(9), 5240. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095240>
- Cajamar, (2023). Observatorio sobre el sector agroalimentario español en el contexto europeo, Informe 2023. Cajamar.
- Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S.I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J.A., Shindell, D. (2017). Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecol. Soc.* 22. <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>
- Carranza-Gallego, G., Guzmán-Casado, G. I., García-Ruiz, R., González de Molina, M., & Aguilera, E. (2018a). Contribution of old wheat varieties to climate change mitigation under contrasting managements and rainfed Mediterranean conditions. *Journal of Cleaner Production*, 195, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.188>
- Carranza-Gallego, G., Guzmán, G. I., Soto, D., Aguilera, E., Villa, I., Infante-Amate, J., ... de Molina, M. G. (2018b). Modern wheat varieties as a driver of the degradation of Spanish rainfed mediterranean agroecosystems throughout the 20th century. *Sustainability* (Switzerland), 10(3724). <https://doi.org/10.3390/su10103724>
- García-Ruiz, R., Carranza-Gallego, G., Aguilera, E., González De Molina, M., & Guzmán, G. I. (2019). C and N mineralisation of straw of traditional and modern wheat varieties in soils of contrasting fertility. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 113(2), 167–179. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09973-4>
- Caritas (2020) Vulneraciones de derechos laborales en el sector agrícola, la hostelería y los empleos del hogar. <https://www.caritas.es/main-files/uploads/2018/10/C%C3%81RITAS-Vulneraciones-de-Derechos-Laborales-web-.pdf>
- Castiello, F., Suárez, B., Beneito, A., Lopez-Espinosa, M.-J., Santa-Marina, L., Lertxundi, A., Tardón, A., Riaño-Galán, I., Casas, M., Vrijheid, M., Olea, N., Fernández, M. F., & Freire, C. (2023). Childhood exposure to non-persistent pesticides and pubertal development in Spanish girls and boys: Evidence from the INMA (Environment and Childhood) cohort. *Environmental Pollution*, 316(120571). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120571>
- Chassot, E., Antoine, S., Guillotreau, P., Lucas, J., Assan, C., Marguerite, M., & Bodin, N. (2021). Fuel consumption and air emissions in one of the world's largest commercial fisheries. *Environmental Pollution*, 273, 116454.
- COAG (2020) Análisis y Contexto para interpretar los datos de Renta Agraria 2020. Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos
- Collantes, F., (2007) La desagrariación de la sociedad rural española, 1950-1991. Historia Agraria, nº 42, pp. 251-276, SEHA

- Connolly, A., Basinas, I., Jones, K., Galea, K.S., Kenny, L., McGowan, P., et al. (2018). Characterising glyphosate exposures among amenity horticulturists using multiple spot urine samples. *Int J Hyg Environ Health*, 221, p.p. 1012-1022.
- Corcellas, C., Eljarrat, E. and Barcelo, D. (2015). First report of pyrethroid bioaccumulation in wild river fish: A case study in iberian river basins (spain). *Environ Int*, 75, p.p. 110-116.
- Curl CL, Beresford SA, Fenske RA, Fitzpatrick AL, Lu C, Nettleton JA, et al. 2015. Estimating pesticide exposure from dietary intake and organic food choices: The multi-ethnic study of atherosclerosis (mesa). *Environ Health Perspect* 123:475-483.
- Dalsager L, Christensen LE, Kongsholm MG, Kyhl HB, Nielsen F, Schoeters G, et al. 2018. Associations of maternal exposure to organophosphate and pyrethroid insecticides and the herbicide 2,4-d with birth outcomes and anogenital distance at 3 months in the odense child cohort. *Reprod Toxicol* 76:53-62.
- Delgado, P., Pinilla, V., & Belloc, I. (2024). From net importer to global leader: understanding the drivers of Spain's meat export growth since the 1960s. In Cliometrica. <https://doi.org/10.1007/s11698-024-00292-5>
- De Palma, A., Hoskins, A., Gonzalez, R., Newbold, T., Sanchez-Ortiz, K., Ferrier, S.y Purvis, A. (2018). Changes in the Biodiversity Intactness Index in Tropical and Subtropical Forest Biomes, 2001-2012" BioRxiv. <http://biorexiv.org/content/early/2018/04/30/311688.abstract>
- de Pedro, L., Perera-Fernández, L. G., López-Gallego, E., Pérez-Marcos, M., & Sanchez, J. A. (2020). The effect of cover crops on the biodiversity and abundance of ground-dwelling arthropods in a Mediterranean pear orchard. *Agronomy*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy10040580>
- Dereumeaux C, Saoudi A, Goria S, Wagner V, De Crouy-Chanel P, Pecheux M, et al. 2018. Urinary levels of pyrethroid pesticides and determinants in pregnant french women from the elfe cohort. *Environ Int* 119:89-99.
- Defarge, N., Spirox de Vendomois, J., and Seralini, G.E. (2018). Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicol Rep*, 5, p.p.156-163.
- EEA. (2019) Pesticide sales. Available at: <https://www.eea.europa.eu/airs/2018/environment-andhealth/pesticides-sales>
- d'Orbcastel, E. R., Blancheton, J. P., & Aubin, J. (2009). Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacultural engineering*, 40(3), 113-119.
- Döring, T.F., Kromp, B. 2003. Which carabid species benefit from organic agriculture?—a review of comparative studies in winter cereals from Germany and Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:153–161.
- ECHA (2017). Glyphosate not classified as a carcinogen by ECHA. <https://echa.europa.eu/-/glyphosate-not-classified-as-a-carcinogen-by-echa>
- Ecoinvent. (2019). Ecoinvent v3.7.1 Database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- EFSA. (2015). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glyphosate. *EFSA Journal* 13:4302.
- EFSA. (2017). The 2015 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal* 15.
- EFSA. (2018). The 2016 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal* 16.
- EFSA. (2019). Special Eurobarometer Food Safety in the EU, available at: <https://www.efsa.europa.eu/en/corporate/pub/eurobarometer19>
- Espejo-Herrera, N., Cantor, K. P., Malats, N., Silverman, D. T., Tardón, A., García-Closas, R., ... & Villanueva, C. M. (2015). Nitrate in drinking water and bladder cancer risk in Spain. *Environmental research*, 137, 299-307.
- EUMOFA. (2024a). Aquaculture database. Comisión Europea. <https://eumofa.eu/aquaculture>
- EUMOFA. (2024b). Import-Export database. Comisión Europea. <https://eumofa.eu/import-export>
- FEGA. (2023) Informe de Actividad. Fondo Español de Garantía Agraria. <https://www.fega.gob.es/es/el-fega/informes-actividad>
- Feijoo, L., Rey-Brandariz, J., Guerra-Tort, C., Candal-Pedreira, C., Santiago-Pérez, M. I., Ruano-Ravina, A., & Pérez-Ríos, M. (2024). Prevalence of obesity in Spain and its autonomous communities, 1987-2020. *Revista española de cardiología* (English ed.), 77(10), 809-818. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2023.12.018>
- FESNAD, (2015), Consenso sobre las grasas y aceites en la alimentación de la población adulta, Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética, https://www.fesnad.org/resources/files/Publicaciones/Consenso_sobre_las_grasas_y_aceites_2015.pdf
- Francisco, A. C., Leon, J., Saénz, J. M., Fernandez, M. F., Piedad, M. O., Olea, N., & Arrebola, J. P. (2016). Contribution of persistent organic pollutant exposure to the adipose tissue oxidative microenvironment in an adult cohort: A multipollutant approach. *Environmental Science and Technology*, 50(24), 13529-13538. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03783>
- Freire, C., Suárez, B., Vela-Soria, F., Castiello, F., Reina-Pérez, I., Andersen, H. R., Olea, N., & Fernández, M. F. (2021). Urinary metabolites of non-persistent pesticides and serum hormones in Spanish adolescent males. *Environmental Research*, 197(March). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111016>
- Freisling, H., Viallon, V., Lennon, H., Bagnardi, V., Ricci, C., Butterworth, A. S., ... Ferrari, P. (2020). Lifestyle factors and risk of multimorbidity of cancer and cardiometabolic diseases: A multinational cohort study. *BMC Medicine*, 18(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1474-7>
- Friedland, W. H. (2004). Agrifood Globalisation and Commodity Systems. *The International Journal of Sociology of Agriculture and Food*. París, France, 12, pp. 5-16. doi: 10.48416/ijasaf.v12i.319.
- Friedmann H. The International Political Economy of Food: A Global Crisis. *International Journal of Health Services*. 1995;25(3):511-538.
- Fucic, A., Duca, R., Galea, K. S., Maric, T., Garcia, K., Bloom, M., Andersen, H. R., & Vena, J. (2021). Reproductive health risks associated with occupational and environmental exposure to pesticides. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph18126576>
- Gabriel, D., Sait. S.M., Kunin, W.E., Benton, T.G. 2013. Food production vs. biodiversity: comparing organic and conventional agriculture. *Journal of Applied Ecology* 50:355–364. doi: 10.1111/1365-2664.12035
- Gerten, D., Heck, V., Jägermeyr, J., Bodirsky, B.L., Fetzer, I., Jalava, M., Kummu, M., Lucht, W., Rockström, J., Schaphoff, S., Schellnhuber, H.J. (2020). Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nature Sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0465-1>

- González de Molina, M., Soto-Fernández, D., Guzmán-Casado, G. I., Infante-Amate, J., Aguilera-Fernández, E., Vila-Traver, J., & García-Ruiz, R. (2020). The Social Metabolism of Spanish Agriculture, 1900-2008.
- González N, Pàmies C, Martínez P, Martí L, Domingo JL, Nadal M, Marquès M. Effects of an organic diet intervention on the levels of organophosphorus metabolites in an adult cohort. *Food Res Int.* (2023) Nov;173(Pt 1):113354. doi: 10.1016/j.foodres.2023.113354. Epub 2023 Aug 5. PMID: 37803657.
- Gonzalez-Alzaga, B., Lacasana, M., Aguilar-Garduno, C., Rodriguez-Barranco, M., Ballester, F., Rebagliato, M. et al. (2014). A systematic review of neurodevelopmental effects of prenatal and postnatal organophosphate pesticide exposure. *Toxicology letters*, 230, p.p. 104-121.
- Gonzalez-Garcia, S., Villanueva-Rey, P., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2018). Estimating carbon footprint under an intensive aquaculture regime. *Sustainable Aquaculture*, 249-263.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., Meybeck, A., 2011. Global Food Losses and Food Waste, in: FAO (Ed.), Rome.
- Gutiérrez, J.M., R.G. Jones, G.T. Narisma, L.M. Alves, M. Amjad, I.V. Gorodetskaya, M. Grose, N.A.B. Klutse, S. Krakovska, J. Li, D. Martínez-Castro, L.O. Mearns, S.H. Mernild, T. Ngo-Duc, B. van den Hurk, and J.-H. Yoon, 2021: Atlas. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1927-2058, doi:10.1017/9781009157896.021. Interactive Atlas available from <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>
- Gutiérrez-Peña, R., Fernández-Cabanás, V. M., Mena, Y., & Delgado-Pertíñez, M. (2018). Fatty acid profile and vitamins A and E contents of milk in goat farms under Mediterranean wood pastures as affected by grazing conditions and seasons. *Journal of Food Composition and Analysis*, 72(July), 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.07.003>
- Guzmán G.I., Astier, M. 2017. Organic Farming: Between The Relocation Of Energy Flows and Input Replacement. En (G.I. Guzmán and M. González de Molina, eds.) Energy in Agroecosystems: A Tool for Assessing Sustainability. Boca Raton: CRC Press.
- Guzmán, G. I., & González de Molina, M. (2017). Energy in Agroecosystems. A tool for Assessing Sustainability. Boca Ratón: CRC Press.
- Guzmán, G. I., González de Molina, M., Soto Fernández, D., Infante-Amate, J., & Aguilera, E. (2018). Spanish agriculture from 1900 to 2008: a long-term perspective on agroecosystem energy from an agroecological approach. *Regional Environmental Change*, 18(4), 995–1008. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1136-2>
- HBM4EU, 2019, Scoping document for pesticides version 2, part of D4.6 scoping document set.
- HBM4EU, 2019, Prioritised substance group: pesticides – updated – policy-related questions.
- HBM4EU, 2020, Legislative mapping: pesticides, summary document prepared by RPA on behalf of the European Environment Agency.
- Hill, S. L. L., Gonzalez, R., Sanchez-Ortiz, K., Caton, E., Espinoza, F., Newbold, T., Tylianakis, J., Scharlemann, J. P. W., De Palma, A., & Purvis, A. (2018). Worldwide impacts of past and projected future land-use change on local species richness and the Biodiversity Intactness Index. *bioRxiv*, 311787. <https://doi.org/10.1101/311787>
- Hodapp, D., Roca, I. T., Fiorentino, D., Garilao, C., Kaschner, K., Kesner-Reyes, K., Schneider, B., Segschneider, J., Kocsis, Á T., Kiessling, W., Brey, T., & Froese, R. (2023). Climate change disrupts core habitats of marine species. *Global Change Biology*, 29, 3304–3317. <https://doi.org/10.1111/gcb.16612>
- Hole, D.G., A. J. Perkins, J. D. Wilson, I. H. Alexander, P. V. Grice, and A. D. Evans. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122:113-130.
- Horel, Stephane, (2015). Un asunto tóxico. Como el lobby de la industria química bloqueó la adopción de medidas contra los disruptores endocrinos, *Ecologistas en Acción*, <https://www.ecologistasenaccion.org/31444/informe-un-asunto-toxico/>.
- INE (2023a) Encuesta sobre la Estructura de las Explotaciones Agrícolas. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176854&menu=ultiDatos&idp=1254735727106 Instituto Nacional de Estadística.
- INE (2023b). Encuesta de Presupuestos Familiares. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176806&menu=resultados&idp=1254735976608 Instituto Nacional de Estadística
- INE (2024). Proyecciones de Población. Años 2024-2074. Consultado el 10/10/2024. <https://www.ine.es/dyngs/INEbase/listaoperaciones.htm> Instituto Nacional de Estadística
- INE (2025a) Censo Agrario. Consultado 01/2025. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=resultados&idp=1254735727106 Instituto Nacional de Estadística
- INE (2025b) Encuesta de Población Activa (EPA). Instituto Nacional de Estadística
- Infante Amate, J., Aguilera, E., Palmeri, F., Guzmán Casado, G. I., Soto, D., García-Ruiz, R., & González de Molina, M. (2018). Land embodied in Spain's biomass trade and consumption (1900-2008): Historical changes, drivers and impacts. *Land Use Policy*, 78, 493-502. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.019>
- IPCC (2021). Sixth Assessment Report (AR6): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Ibarra, D., Vázquez-Rowe, I., Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010). Estimation of the carbon footprint of the Galician fishing activity (NW Spain). *Science of the Total Environment*, 408(22), 5284-5294.
- Ibarra, D., Vázquez-Rowe, I., Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2011). Updating the carbon footprint of the Galician fishing activity (NW Spain). *Science of the Total Environment*, 409(8), 1609-1611.
- Keyte, I., Patton, N., Whiting, R., Weindel, N., Flexman, K., & Corden, C. (2022). Substance report. Pesticides. HBM4EU.
- Koureas, M., Tsakalof, A., Tsatsakis, A., Hadjichristodoulou, C. (2012). Systematic review of biomonitoring studies to determine the association between exposure to organophosphorus and pyrethroid insecticides and human health outcomes. *Toxicology letters*, 210, p.p. 155-168.
- Laine, J. E., Huybrechts, I., Gunter, M. J., Ferrari, P., Weiderpass, E., Tsilidis, K., ... Vineis, P. (2021). Co-benefits from sustainable dietary shifts for population and environmental health: an assessment from a large European cohort study. *The Lancet Planetary Health*, 5, e786-e796. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00250-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00250-3)

- Lassaletta, L., Billen, G., Romero, E., Garnier, J., & Aguilera, E. (2014). How changes in diet and trade patterns have shaped the N cycle at the national scale: Spain (1961-2009). *Regional Environmental Change*, 14(2), 785-797. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0536-1>
- Lee WJ, Blair A, Hoppin JA, Lubin JH, Rusiecki JA, Sandler DP, et al. 2004. Cancer incidence among pesticide applicators exposed to chlorpyrifos in the agricultural health study. *J Natl Cancer Inst* 96:1781-1789.
- Lori, M., Symnaczik, S., Mader, P., De Deyn, G., Gattinger, A. 2017. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity - A meta-analysis and meta-regression. *PLoS one*, 12(7), p.e0180442.19
- Lu C, Toepel K, Irish R, Fenske RA, Barr DB, Bravo R. 2006. Organic diets significantly lower children's dietary exposure to organophosphorus pesticides. *Environmental health perspectives* 114:260-263.
- Luo, J., Liao, G., Banerjee, S., Gu, S., Liang, J., Guo, X., Zhao, H., Liang, Y., Li, T. 2023. Long-term organic fertilization promotes the resilience of soil multifunctionality driven by bacterial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 177, 108922. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108922>
- MacLeod, M., Hasan, M. R., Robb, D. H., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2019). Quantifying and mitigating greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- MAPA, (2023), Panel de Consumo Alimentario. Últimos datos, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. www.mapa.gob.es
- MAPA, (2024a) Estadísticas pesqueras, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. www.mapa.gob.es
- MAPA, (2024b), Estadística anual de consumo de productos fitosanitarios y Estadística quinquenal de utilización de productos fitosanitarios en la Agricultura, www.mapa.gob.es
- MAPA, (2025). Anuario de Estadística Agraria. www.mapa.gob.es
- Millman, J. F., Okamoto, S., Teruya, T., Uema, T., Ikematsu, S., Shimabukuro, M., & Masuzaki, H. (2021). Extra-virgin olive oil and the gut-brain axis: influence on gut microbiota, mucosal immunity, and cardiometabolic and cognitive health. *Nutrition reviews*, 79(12), 1362-1374. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa148>
- Mostaza, J. M., Pintó, X., Armario, P., Masana, L., Real, J. T., Valdivielso, P., ... Puzo, J. (2024). SEA 2024 Standards for Global Control of Vascular Risk. *Clinica e Investigacion En Arteriosclerosis*, 36(3), 133-194. <https://doi.org/10.1016/j.arteri.2024.02.001>
- Mouratiadou, I., Wezel, A., Kamilia, K. et al. (2024). The socio-economic performance of agroecology. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 44, 19. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00945-9>
- Muñoz, M., Reul, A., Guijarro, B., & Hidalgo, M. (2023). Carbon footprint, economic benefits and sustainable fishing: Lessons for the future from the Western Mediterranean. *Science of the Total Environment*, 865, 160783.
- Mustieles, V., Fernández, M. F., Martín-Olmedo, P., González-Alzaga, B., Fontalba-Navas, A., Hauser, R., Olea, N., & Arrebola, J. P. (2017). Human adipose tissue levels of persistent organic pollutants and metabolic syndrome components: Combining a cross-sectional with a 10-year longitudinal study using a multi-pollutant approach. *Environment International*, 104(April), 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.04.002>
- Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., Castellani, V., & Sala, S. (2017). Environmental impacts of food consumption in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 140, 753-765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.080>
- Oates L, Cohen M, Braun L, Schembri A, Taskova R. 2014. Reduction in urinary organophosphate pesticide metabolites in adults after a week-long organic diet. *Environ Res* 132:105-111.
- Olea, Nicolás (2021), Informe "Una lección mal aprendida: la exposición humana a pesticidas disruptores endocrinos (EDC) y sus consecuencias para la salud", Alimentta. www.alimentta.com
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- O'Rourke, M. E., DeLonge, M. S., & Salvador, R. (2017). Insights from agroecology and a critical next step: Integrating human health. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(7), 880-884. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1326073>
- Ottenbros, I., Lebret, E., Huber, C., Lommen, A., Antignac, J. P., Cupr, P., Šulc, L., Mikeš, O., Szigeti, T., Középesy, S., Martinsone, I., Martinsone, Z., Akulova, L., Pardo, O., Fernández, S. F., Coscollá, C., Pedraza-Díaz, S., Krauss, M., Debrauwer, L., ... Vlaanderen, J. (2023). Assessment of exposure to pesticide mixtures in five European countries by a harmonized urinary suspect screening approach. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114105>
- Oyinlola, M.A., Reygondeau, G., Wabnitz, C.C.C., Frölicher, T.L., Lam, V.W.Y., Cheung, W.W.L., 2022. Projecting global mariculture production and adaptation pathways under climate change. *Glob. Chang. Biol.* 28, 1315-1331. <https://doi.org/10.1111/gcb.15991>
- Partearroyo, T., Laja García, A. I., & Varela-Moreiras, G. (2019). Fortalezas y debilidades de la alimentación en la población española del siglo XXI. *Nutrición Hospitalaria*, 4-7. <https://doi.org/10.20960/nh.02685>
- Peris, A., Baos, R., Martínez, A., Sergio, F., Hiraldo, F., & Eljarrat, E. (2023). Pesticide contamination of bird species from Doñana National Park (southwestern Spain): Temporal trends (1999–2021) and reproductive impacts. *Environmental Pollution*, 323, 121240.
- Popkin, B.M., Gordon-Larsen, P. The nutrition transition: worldwide obesity dynamics and their determinants. *Int J Obes* 28 (Suppl 3), S2-S9 (2004). <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802804>
- Popkin, B.M. (2017). Relationship between shifts in food system dynamics and acceleration of the global nutrition transition, *Nutrition Reviews* 75(2): 73-82 <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw064>
- Qiu, T., Shi, Y., Peñuelas, J., Liu, J., Cui, Q., Sardans, J., ... Fang, L. (2024). Optimizing cover crop practices as a sustainable solution for global agroecosystem services. *Nature Communications*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54536-z>
- Reina-Pérez I, Artacho-Cordón F, Mustieles V, Castellano-Castillo D, Cardona F, Jiménez-Díaz I, López-Medina JA, Alcaide J, Ocaña-Wilhelmi L, Iribarne-Durán LM, Arrebola JP, Olea N, Tinahones FJ, Fernández MF. Cross-sectional associations of persistent organic pollutants measured in adipose tissue and metabolic syndrome in clinically diagnosed middle-aged adults. *Environ Res.* 2023 Apr 1;222:115350. doi: 10.1016/j.envres.2023.115350. Epub 2023 Jan 26. PMID: 36709023.

- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Ríos-Núñez, S. M., & Coq-Huelva, D. (2015). The Transformation of the Spanish Livestock System in the Second and Third Food Regimes. *Journal of Agrarian Change*, 15(4), 519–540. <https://doi.org/10.1111/jaac.12088>
- Rivera-Ferre, M.G., Feliu López-i-Gelats, Federica Raverà, Elisa Oteros-Rozas, Marina di Masso, Rosa Binimelis, Hamid El Bilali.(2021).The two-way relationship between food systems and the COVID19 pandemic: causes and consequences. *Agricultural Systems*,191: 103134. <https://doi.org/10.1016/j.aggsy.2021.103134>.
- Rivera-Ferre, M.G., Dean, G., Escalante Moreno, H., Infante Amate, J. Aguilera, E. 2023. El impacto en el empleo de la transición agroecológica en España. Amigos de la Tierra. Madrid. 43pp.
- Roca M, Miralles-Marco A, Ferre J, Perez R, Yusa V. (2014). Biomonitoring exposure assessment to contemporary pesticides in a school children population of spain. *Environ Res* 131C:77-85.
- Richardson, J., Steffen W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S.E., et al. (2023). Earth beyond six of nine Planetary Boundaries. *Science Advances*, 9, 37.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., et.al. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475 DOI 10.1038/461472
- Rodríguez-Hernández, Á., Camacho, M., Henríquez-Hernández, L. A., Boada, L. D., Ruiz-Suárez, N., Valerón, P. F., ... Luzardo, O. P. (2016). Assessment of human health hazards associated with the dietary exposure to organic and inorganic contaminants through the consumption of fishery products in Spain. *Science of the Total Environment*, 557–558, 808–818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.035>
- Ross, S.M., McManus, I.C., Harrison, V. and Mason, O. (2013). Neurobehavioral problems following low-level exposure to organophosphate pesticides: A systematic and meta-analytic review. *Crit Rev Toxicol.* 43, p.p. 21-44.
- Ruiz, P., Dualde, P., Coscollà, C., Fernández, S.F., Carbonell, E., Yusà, V. 2021. Biomonitoring of glyphosate and AMPA in the urine of Spanish lactating mothers, *Science of the Total Environment*, 801
- Rundlöf, M., Nilsson, H., Smith, H.G. 2008. Interacting effects of farming practice and landscape context on bumble bees. *Biological conservation* 141:417-426. doi:10.1016/j.biocon.2007.10.011
- Schau, E. M., Ellingsen, H., Endal, A., & Aanondsen, S. A. (2009). Energy consumption in the Norwegian fisheries. *Journal of Cleaner Production*, 17(3), 325-334.
- Szigeti, T., Kakucs, R., Lobo Vicente, J., Grosu, B. (2021) Substance report HMB4EU (EEA) <https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2022/07/Lead-Substance-report.pdf>
- Smith, O.M., Cohen, A.L., Rieser, C.J., Davis, A.G., Taylor, J.M., Adesanya, A.W., Jones, M.S., Meier, A.R., Reganold, J.P., Orpet, R.J., Northfield, T.D., Crowder, D.W. 2019. Organic Farming Provides Reliable Environmental Benefits but Increases Variability in Crop Yields: A Global Meta-Analysis. *Front. Sustain. Food Syst.* 3:82. doi: 10.3389/fsufs.2019.00082
- Shu, X., He, J., Zhou, Z., Xia, L., Hu, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., Luo, Y., Chu, H., Liu, W., Yuan, S., Gao, X., Wang, C. 2022. Organic amendments enhance soil microbial diversity, microbial functionality and crop yields: A meta-analysis. *Science of the Total Environment* 829, 154627.
- Soil Association, The. 2000. The Biodiversity Benefits of Organic Farming. The Soil Association Bristol House. Bristol.
- Thompson, R.M., Brose, U., Dunne, J.A., Hall Jr., R.O., Hladyz, S., Kitching, R.L., Martinez, N.D., Rantala, H., Romanuk, T.N., Stouffer, D.B., Tylianakis, J.M. 2012. Food webs: reconciling the structure and function of biodiversity. *Trends in ecology and evolution* 27(12):689–697. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.08.005>
- Tortosa, G., Correa, D., Sánchez-Raya, A. J., Delgado, A., Sánchez-Monedero, M. A., & Bedmar, E. J. (2011). Effects of nitrate contamination and seasonal variation on the denitrification and greenhouse gas production in La Rocina Stream (Doñana National Park, SW Spain). *Ecological Engineering*, 37(4), 539-548.
- Tuck, S.L., Winqvist, C., Mota, F., Ahnström, J., Turnbull, L.A., Bengtsson, J. 2014. Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 51, 746–755. doi: 10.1111/1365-2664.12219
- Ubago-Guisado, E., Rodríguez-Barranco, M., Ching-López, A., Petrova, D., Molina-Montes, E., Amiano, P., ... Sánchez, M. J. (2021). Evidence update on the relationship between diet and the most common cancers from the European prospective investigation into cancer and nutrition (Epic) study: A systematic review. *Nutrients*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/nu13103582>
- van der Ploeg, J.D. , D. Barjolle, J. Bruij, G. Brunori, L.M. Costa Madureira, J. Dessein, Z. Drag, A. Fink-Kessler, P. Gasselin, M. Gonzalez de Molina, K. Gorlach, K. Jürgens, J. Kinsella, J. Kirwan, K. Knickel, V. Lucas, T. Marsden, D. Maye, P. Migliorini, ..., A. Wezel. (2019).The economic potential of agroecology: empirical evidence from Europe.J. Rural. Stud., 71: 46-61, 10.1016/J.JRURSTUD.2019.09.003.
- Verkuil, L.A. Peter H. Verburg, Christian Levers, Anne Elise Stratton, Catharina J.E. Schulp, 2024. Bright spots of agroecology in the Netherlands: A spatial analysis of agroecological practices and income stability, *Agricultural Systems*,220: 104086.
- Villasante S, Macho G, Silva MRO, Lopes PFM, Pita P, Simón A, Balsa JCM, Olabarria C, Vázquez E and Calvo N (2022) Resilience and Social Adaptation to Climate Change Impacts in Small-Scale Fisheries. *Front. Mar. Sci.* 9:802762. doi: 10.3389/fmars.2022.802762
- Weis, T. (2013). The meat of the global food crisis. *Journal of Peasant Studies*, 40(1), 65–85. <https://doi.org/10.1080/0306150.2012.752357>
- Wezel, A., Herren, B.G., Kerr, R.B., Barrios, E., Gonçalves, A.L.R., Sinclair, F., 2020. Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 40, 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., ... Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393, 447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)

^ Índice

Ye M, Beach J, Martin JW, Senthilselvan A. 2015. Associations between dietary factors and urinary concentrations of organophosphate and pyrethroid metabolites in a canadian general population. *Int J Hyg Environ Health* 218:616-626.

Yusa, V., Millet, M., Coscolla, C., Pardo, O., Roca, M. 2015. Occurrence of biomarkers of pesticide exposure in non-invasive human specimens. *Chemosphere*, 139, 91-108. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.082>

8. Índice de figuras y tablas

Figuras

Figura 1. Reparto de la superficie cultivada (SC) en términos relativos, en la actualidad (base), el modelo BAU y el modelo BIO+, para 2050.

Figura 2. Reparto de la superficie cultivada (SC) en términos relativos según su sistema de regadío, en la actualidad (base). En el eje izquierdo se representa el porcentaje sobre la superficie de cada grupo (barras), y en el eje derecho el número de hectáreas(línea y puntos amarillos).

Figura 3. Distribución de la Superficie Cultivada (SC) según el tipo de riego y cultivo. A) indica la SC irrigada en invernadero, B) la SC en secano, C) la SC en irrigación no cubierta y D) el conjunto de la SC.

Figura 4. Distribución de la superficie cultivada, según el tipo de manejo (ecológico o convencional).

Figura 5. Producción en los distintos modelos de transición (BAU y BIO+), para los distintos hitos temporales.

Figura 6. Componentes de la PPN, expresados en materia seca, comparando los escenarios actual (base), BAU y BIO+. Se indica la PPN según si procede de la superficie cultivada o la superficie no cultivada.

Figura 7. Carbono aplicado a los agroecosistemas por hectárea, aplicado (A) y humidificado (B), comparando los escenarios actual (base), BAU y BIO+. Unidades: toneladas/hectárea

Figura 8. Nitrógeno contenido en los productos producidos (color opaco) e importados (color rayado).

Figura 9. Consumo alimentario de la cabaña ganadera, para los distintos modelos de transición e hitos temporales. La figura A representa la materia fresca excluyendo el consumo de pastos, mientras que la figura B representa el total expresado en materia seca, incluyendo la fracción de pastos (verde) y en comparación con el resto de partidas agrupadas (barra de colores). Other agrupa categorías menores al 1% del total para cada barra.

Figura 10. Consumo alimentario de la cabaña ganadera expresado en materia fresca para los distintos modelos de transición e hitos temporales. Se ha excluido el valor de los pastos para mejorar su visualizado. La figura A representa la materia fresca excluyendo el consumo de pastos, distinguiendo si es procedente de la producción nacional o de la importación, mientras que la figura B representa la proporción de producción nacional o importación. Other agrupa categorías menores al 1% del total para cada barra.

Figura 11. Consumo alimentario de la cabaña ganadera expresado en cantidad de nitrógeno (N) utilizado, para los distintos modelos de transición e hitos temporales. La figura A representa las categorías agrupadas, la figura B distingue si es procedente de la producción nacional o de la importación, y la figura C representa la proporción agrupada de producción nacional o importación. Other agrupa categorías menores al 1% del total para cada barra.

Figura 12. Producción nacional asociada a la cabaña ganadera. La figura A expresa, en materia fresca, las categorías cárnicas y la figura B los productos lácteos, la miel, los huevos, y la lana.

Figura 13. Balance neto de las categorías de productos analizadas. La figura A indica el baseline, figuras B y C el modelo BAU para los hitos 2030 y 2050 respectivamente, y figuras D y E el modelo BIO+ para 2030 y 2050 respectivamente.

Figura 14. Balance neto de las categorías de productos analizadas, lo que representa el consumo (domestic supply, punto negro) y fracciones asociadas a la producción (azul), importación (verde) o exportación (rojo) expresado en N.

Figura 15. Representación de las cadenas alimentarias pesqueras en la actualidad. Valores medios para los años 2017-2021, expresados en toneladas.

Figura 16. Disponibilidad bruta en la situación actual, categorizada según su origen (acuicultura, captura o importación), y su región (acuicultura en territorio español, caladero nacional para las aguas que circundan el estado, comunitario cuando se trata de aguas europeas y no comunitario cuando se realizan en otras aguas). Se ha desagregado la importación en función de si se trata de países europeos o no.

Figura 17. Comparativa en los flujos de las cadenas pesqueras en el escenario BAU (superior) y BIO+(inferior) en 2030 en el escenario climático SSP2-RCP4.5. Figura 18. Comparativa en los flujos de las cadenas acuícola-pesqueras en el escenario BAU (superior) y BIO+(inferior) en 2050 en el escenario climático SSP2-RCP4.5.

Figura 19. Disponibilidad bruta en los hitos temporales 2030 y 2050, en el escenario climático SSP2-RCP4.5, categorizada según su origen (acuicultura, captura o importación), y su región (acuicultura en territorio español, caladero nacional para las aguas que circundan el estado, comunitario cuando se trata de aguas europeas y no comunitario cuando se realizan en otras aguas). Se ha desagregado la importación en función de si se trata de países europeos o no.

Figura 20. Destino de la disponibilidad bruta en los modelos BAU y BIO+.

Figura 21. Distribución del producto disponible transformado y sin transformar en los modelos BAU y BIO+.

Figura 22. Representación de la potencia y número de barcos para los distintos escenarios climáticos y modelos de transición analizados, clasificados según el arte de pesca.

Figura 23. Cantidad ingerida en los distintos hitos temporales y modelos de transición, contabilizando la parte ingerida (ingesta), la parte no comestible y el desperdicio, medido en energía, materia fresca, y macronutrientes principales.

Figura 24. Distribución de los productos ingeridos en los distintos hitos temporales y modelos de transición.

Figura 25. Macronutrientes y energía que componen las dietas en los distintos escenarios climáticos y modelos de transición, en función de si se trata de productos de origen animal o vegetal, expresado en unidades por persona y día

Figura 26. Macronutrientes y energía que componen las dietas en los distintos escenarios climáticos y modelos de transición, según la aportación de cada grupo de alimentos, expresado en unidades por persona y día. En la figura superior se diferencia por si es de origen vegetal o animal y en la parte inferior según el grupo de alimentos.

Figura 27. Resumen del estudio HMB4EU. Extraído de Szigeti et al., 2021

Figura 28. Número de especies existentes (biodiversidad total) en los distintos hitos temporales y modelos de transición, de manera comparada con la actualidad (baseline).

Figura 29. Efecto de las variables climáticas sobre la biodiversidad amenazada para cada grupo de especies. Las figuras A, C y E se refieren al modelo BAU y las figuras B, D y F al modelo BIO. Las figuras A y B se refieren al efecto de las catástrofes, C y D al efecto de las precipitaciones, y E y F al efecto de las temperaturas.

Figura 30. Especies amenazadas según los escenarios climáticos y modelos de transición estudiados para el conjunto de los grupos de especies en 2030.

Figura 31. Especies amenazadas según los escenarios climáticos y modelos de transición estudiados para el conjunto de los grupos de especies en 2050.

Figura 32. Cambio relativo de los grupos de especies amenazadas, en términos relativos con respecto a las especies amenazadas en la actualidad, para el modelo BAU (superior) y BIO+ (inferior), en los distintos escenarios climáticos.

Figura 33. Número de especies presente para los distintos modelos de transición y escenarios climáticos en el hito temporal 2030 y 2050.

Figura 34. Número de especies en la actualidad y en los escenarios climáticos, para cada una de las zonas del caladero nacional.

Figura 35. Modelado del efecto de las Áreas Marinas Protegidas (MPA) sobre las capturas, como parte del modelo de transición BIO+. La barra "inicial" muestra el valor proyectado para la biomasa marina disponible para ser capturada previa a la existencia del efecto spillover por la cercanía a las MPAs. La barra "ajustada" muestra el incremento como consecuencia de la existencia de las MPAs. "Modelizada" se refiere a la corrección realizada sobre la barra "ajustada" para identificar las capturas que se realizan en el horizonte 2030 y 2050.

Figura 36. Composición del total de las superficies de regadío de acuerdo con las tipologías de riego (de izquierda a derecha: goteo, inundación, aspersión y tradicional).

Figura 37. Huella hídrica verde, azul y gris para el conjunto del Estado Español en miles de Hm^3 (el rango de valores representa la variabilidad resultante de los tres escenarios de cambio climático).

Figura 38. Huella hídrica azul, verde y gris provincial expresada como el valor medio de los tres escenarios climáticos en miles de Hm^3

Figura 39. Huella hídrica por principales categorías de cultivos para la línea base y escenarios.

Figura 40. Huella hídrica relativa en m^3/Ton para el conjunto de la producción española.

Figura 41. Huella hídrica azul, verde y gris provincial expresada como el valor medio relativo (m^3/Ton) de los escenarios climáticos.

Figura 42. Empleo generado en el sector agrícola y ganadero para los modelos de transición en los hitos 2030 y 2050. Solo se incluye el sector primario en España.

Figura 43. Empleos a tiempo completo totales para la actualidad (baseline), y los modelos BAU y BIO+ para los hitos temporales 2030 y 2050. Se representa la variabilidad mediante bigotes para recoger todos los modelos climáticos estudiados.

Figura 44. Número de empleados en los sectores pesqueros dependiendo del escenario climático, el hito temporal 2030 y 2050 y el subsector del que se trate.

Figura 45. Productividad (empleados por tonelada producida) dependiendo del escenario climático, el hito temporal 2030 y 2050 y el subsector del que se trate.

Figura 46. Emisiones de gases de efecto invernadero, medidos en CO₂eq, del sector primario en España. No se contabilizan las emisiones extranjeras indirectas asociadas al sector. Unidades: millones de toneladas de CO₂eq

Figura 47. Emisiones totales distribuidas según sector, por escenario climático hito y modelo de transición.

Figura 48. Emisiones de CO₂eq por tonelada disponible para cada modelo de transición (BIO+ y BAU), en cada hito temporal (2030 y 2050) y en cada escenario climático.

Figura 49. Emisiones asociadas a las capturas pesqueras por caladero y arte de pesca para el Baseline.

Figura 50. Emisiones asociadas a las capturas pesqueras por caladero y arte de pesca para el escenario SSP2-RCP4.5 y los hitos temporales 2030 y 2050. Unidades: miles de toneladas de CO₂eq.

Figura 51. Sankey de las emisiones asociadas a cada eslabón de la cadena alimentaria pesquera para el Baseline. Unidades: toneladas de CO₂eq

Figura 52. Sankey de las emisiones asociadas a cada eslabón de la cadena alimentaria pesquera para el hito 2030, escenarios BAU y BIO+.

Figura 53. Sankey de las emisiones asociadas a cada eslabón de la cadena alimentaria pesquera para el hito 2050, escenarios BAU y BIO+.

Figura 54. Representación de los impactos asociados a la alimentación en España. Se expresa en Energía no renovable, superficie cultivada, calentamiento global y trabajo, en función de la categoría de emisiones.

Figura 55. Representación de los impactos asociados a la alimentación en España. Se expresa en Energía no renovable, superficie cultivada, calentamiento global y trabajo, en función de la categoría alimentaria asociada.

Figura 56. Representación de los impactos climáticos asociados a la alimentación en España, expresados en millones de toneladas de CO₂eq (A), y reparto de las emisiones nacionales e internacionales (B)

Figura 57. Evolución de los usos del suelo. Fuente: Anuarios de Estadística Agraria y Censos Agrarios (1973 a 2019)

Tablas

Tabla 1. Rendimientos de producción en los modelos de transición (BAU, BIO) y los hitos temporales 2030 y 2050, expresados en toneladas/hectárea.

Tabla 2. Cambios en tanto por uno con respecto al escenario actual de la producción (PROD), la superficie (SUP) y el rendimiento final (Rend), para cada sistema de irrigación (GH: invernadero irrigado; RF: secano; IRR: irrigado al aire libre). Se señalan en rojo las reducciones con respecto al escenario actual.

Tabla 3. Cantidad ingerida por la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales 2030 y 2050.

Tabla 4. Energía suministrada a la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales.

Tabla 5. Ratio de cumplimiento de las recomendaciones (Rcr) con respecto a las recomendaciones de la Planetary Diet suministrada a la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales 2030 y 2050.

Tabla 6. Macronutrientes aportados a la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales 2030 y 2050.

Tabla 7. Aportación a las Kcal en función de los macronutrientes aportados a la población en los distintos modelos de transición, para el escenario climático intermedio (SSP2-RCP4.5), en los dos hitos temporales 2030 y 2050.

9. Anexo metodológico

A1. Narrativa asociada a los escenarios climáticos (NEC)

La evaluación de futuros escenarios de los sectores de la agricultura, ganadería, pesca y acuicultura bajo diferentes trayectorias de cambio climático (CC) y proyecciones socioeconómicas ha sido realizada a través de diversos estudios que aplican los *Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)* y los *Representative Concentration Pathways (RCPs)*, que permiten examinar el futuro en diferentes escenarios, desde más sostenibles hasta escenarios de altas emisiones y una mayor globalización (O'Neill et al., 2017; Riahi et al., 2017). Estos estudios se han utilizado para explorar cómo la gestión de los recursos marinos y terrestres podría evolucionar considerando los efectos del CC, las políticas internacionales y las dinámicas de mercado (Burgess et al., 2023; Hamon et al., 2021; Kreiss et al., 2020; Pinnegar et al., 2021; Poop et al., 2017; van Vuuren et al., 2011).

En este informe se contemplan tres escenarios globales (IPCC, 2021, AR6) ampliamente validados por la comunidad científica, y asociados a modelos climáticos diferentes, a saber, *sustainable pathway*, *local stewardship* y *world markets*. Dichos escenarios globales proyectan una serie de configuraciones socio-económicas, políticas y culturales que tendrán efectos sobre la evolución climática global (O'Neill et al., 2017; Riahi et al., 2017), y por lo tanto se encuentran asociadas a proyecciones diferenciadas en el recorrido de las magnitudes climáticas como la temperatura y pluviometría. Con esto, se han utilizado los hitos temporales de 2030 y 2050 como objeto de estudio para analizar las variaciones y los posibles impactos climáticos en el sector alimentario español, a partir del procesamiento, a nivel provincial, de las series temporales de los datos diarios de los 6 modelos disponibles en abierto para España (AEMET, 2023). La descripción de estos escenarios globales se detalla a continuación:

A1.1. “Sustainable Pathway” (SSP1-RCP2.6, escenario de cambios socioeconómicos transformadores y reducción de emisiones)

Este es el escenario global más optimista, donde el planeta transita hacia una transformación profunda del sistema económico y alimentario. El objetivo principal es limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2°C y la reducción significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2) mediante la reducción del uso de recursos naturales, la disminución del uso de energía y una rápida transición hacia tecnologías y energías limpias y renovables. En este escenario, la mejor estimación calcula un rango de incremento de la temperatura entre 1,3 y 2,4 °C para 2040 (IPCC, 2023). La prioridad no es el crecimiento ni los beneficios económicos a corto plazo. Las políticas públicas están orientadas a la conservación ambiental, el bienestar social y el uso sostenible de los recursos. En este sentido, la biodiversidad se ve afectada positivamente por las prácticas conservacionistas sobre sus hábitats asociados. Se promueve una clara transición hacia prácticas de menor impacto ambiental y mayores beneficios sociales en todos los sectores. La cooperación internacional juega un papel clave, respaldando políticas globales que fomentan la reducción de emisiones y la restauración de los ecosistemas. Desde la perspectiva de los ecosistemas terrestres, se asume la adquisición e implementación de prácticas sostenibles en su manejo. A medida que disminuyen las emisiones, los ecosistemas marinos y terrestres se recuperan gradualmente, apoyados por estrictas políticas de protección ambiental y la implementación de sistemas de producción más responsables. El sistema alimentario global se reorienta hacia la priorización de la distribución equitativa de alimentos, producción sostenible, la conservación de la biodiversidad y la resiliencia climática. Las prácticas de pesca y acuicultura son más eficientes, con menor impacto ambiental y mayor beneficio social. El uso de la tierra es fuertemente regulado y las tasas de deforestación tropical se reducen intensamente (Popp et al., 2017). Las comunidades locales asumen un papel central en la gestión de los recursos, promoviendo la equidad social y una distribución justa de los beneficios económicos. Se produce una transición a dietas sostenibles y saludables con menor contenido en proteína animal y una reducción relevante del desperdicio alimentario, aunque se mantengan intercambios comerciales globales de productos agroalimentarios. Este enfoque global hacia la sostenibilidad permite recuperar la biodiversidad y asegura que las actividades productivas se realicen de manera que no comprometan los recursos para las generaciones futuras.

Los niveles de crecimiento poblacional humano resultan menores que otros escenarios globales, proyectando una estabilización en torno a 8,5 mil millones en 2050-2060, con una reducción de la desigualdad entre países ricos y pobres. No obstante, este escenario global recoge el incremento del nivel de concentración de la población en entornos urbanos de manera intermedia con respecto a otros SSPs.

Asimismo, se contempla que, a nivel global, las energías renovables incrementen su importancia desde el 0,2% actual al 13% del consumo primario de energía en 2100, no obstante se produzca un incremento en el consumo primario de energía de un 50% más de lo que se demanda hoy en día.

Se prevé una estabilización o recuperación de los stocks pesqueros gracias a estrictas regulaciones nacionales e internacionales y la adopción de una gestión basada en el ecosistema. Las capturas se mantendrán por debajo del rendimiento máximo sostenible, con un leve incremento hacia 2100 debido a la mejora en la gestión integrada de los ecosistemas marinos. El porcentaje de descartes respecto a las capturas se ha mantenido constante.

La acuicultura se convierte en una fuente importante de alimento para consumo humano, con avances en tecnologías en sistemas de producción multitróficos cerrados y más eficientes. Se introducen alternativas para la alimentación en las piscifactorías, se reduce el uso de harinas y aceites de pescado y se sustituyen las energías fósiles por las energías renovables. Se proyecta un crecimiento de la producción hasta 2100, minimizando el impacto ambiental. Sin embargo, es poco realista esperar que la acuicultura por sí sola pueda satisfacer la demanda global de alimentos marinos (Sumaila et al., 2022).

A1.2. “Local Stewardship” (SSP2-RCP4.5, escenario intermedio)

Este escenario global, también llamado “Middle of the Road”, sigue la misma tendencia socioeconómica y tecnológica actual sin grandes cambios significativos. El desarrollo y el crecimiento prosiguen desigualmente entre países, mientras que la cooperación para este progreso avanza pero lentamente hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Existen ciertas mejoras optimizando la intensidad de uso de recursos y energía, que permiten reducir globalmente la huella medioambiental. La previsión de incremento de temperatura global en este escenario es de entre 2,1 y 3,5 °C en 2040 (IPCC, 2023).

En términos de población humana, este SSP establece un pico entre 2070-2080 de cerca de 9,5 mil millones de personas, con una previsión de población concentrada en las ciudades algo inferior al SSP1, en torno al 80% en 2100.

Este escenario global equilibra el crecimiento económico moderado con la conservación ambiental, otorgando un rol central a las comunidades locales y regionales en la gestión de los recursos marinos. Se fomenta una economía focalizada y orientada hacia el mercado interno, con una fuerte regulación estatal y regional que prioriza la sostenibilidad ambiental, el bienestar social y la resiliencia al CC. Las políticas ambientales para alcanzar ecosistemas marinos y terrestres saludables y una mejor conservación de la biodiversidad avanzan de forma gradual, pero los efectos del CC siguen siendo significativos. Se prioriza mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las prácticas agrícolas,

pesqueras y acuícolas, fomentando el uso de tecnologías y prácticas de menor impacto ambiental. Las comunidades locales desempeñan un papel fundamental en la gestión de los recursos naturales, adoptando prácticas más sostenibles tanto ambiental como socialmente. No obstante, los esfuerzos para reducir emisiones de la deforestación y la agricultura resultan moderados con respecto al SSP1, aunque las soluciones locales se consolidan como mecanismos claves para proteger la biodiversidad marina y terrestre, y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los recursos naturales.

Las demandas energéticas se duplican con respecto a las actuales, superando por tanto al SSP1, con un aumento en la contribución global del uso energético combinado de gas, licuefactados y carbón, a la par que se incrementa el uso de energías renovables.

En conjunto, este escenario global promueve un equilibrio entre el desarrollo económico, la justicia social y la conservación del medio ambiente, garantizando una mayor equidad entre las comunidades y los actores de mayor escala, aunque con transformaciones en términos de cooperación internacional para luchar contra el CC menores que en el SSP1. No obstante, la resiliencia frente al CC se fortalece gracias a un enfoque relocalizado de la economía y el sistema alimentario.

En los sistemas marinos, las capturas disminuyen siguiendo la tendencia actual hasta 2050 debido a la presión sobre los ecosistemas. Los descartes y desperdicio alimentario en la cadena se reducen de forma directamente proporcional a las capturas. En este escenario global, la producción acuícola crece de forma moderada hasta 2050 gracias a la implementación de algunas medidas de adaptación. Aunque disminuye el uso de harinas y aceites de pescado, sigue existiendo una dependencia parcial de estos recursos. Las condiciones climáticas afectan a especies más vulnerables, y la producción sigue enfrentando desafíos debido a la competencia por recursos pesqueros y espacios costeros.

En lo que se refiere al uso del suelo, se contempla un paso intermedio en el cambio tecnológico con respecto al SSP1, adaptando moderadamente las mejores prácticas aunque manteniendo la intensidad material asociada al consumo alimentario. Las masas forestales que actúan como pulmón planetario presentan regulación protección parcial, lo que reduce el ritmo de deforestación pero no lo frena (Popp et al., 2017).

A1.3. “World Markets” (SSP5-RCP8.5, escenario de alto consumo energético y altas emisiones)

Este SSP también se denomina “desarrollo basado en combustibles fósiles”, y se encuentra principalmente asociado a una aceleración destacada y apoyada en un progreso tecnológico acelerado. La previsión de incremento de temperatura global en este escenario es de entre 3,3 y 5,7 °C en 2040 (IPCC, 2023).

Este escenario global es el más pesimista desde el punto de vista ambiental y describe un mundo altamente globalizado y orientado hacia políticas de libre mercado, donde el crecimiento económico es la principal prioridad, sin tener en consideración la sostenibilidad ambiental o social a largo plazo. La economía global se expande rápidamente, impulsada por una mayor demanda de consumibles y una producción agraria y acuícola industriales e intensivas. Las políticas gubernamentales favorecen el libre comercio y la desregulación, lo que permite a las grandes corporaciones dominar los recursos marinos y agrícolas, priorizando la producción y el comercio a gran escala sobre la protección ambiental. A medida que avanzan los impactos del CC, la degradación de los ecosistemas marinos y terrestres se incrementa debido principalmente a la acidificación y calentamiento del océano, la reducción de las precipitaciones y la sobreexplotación de los recursos. Aunque la tecnología avanza rápidamente, con innovaciones que mejoran la eficiencia de la producción, los esfuerzos de conservación y mitigación son mínimos. Las regulaciones ambientales son laxas, lo que permite una explotación continua y excesiva de los recursos naturales. La promoción del desarrollo económico y social se acompaña con la mayor explotación de recursos fósiles y los estilos de vida energéticamente intensivos a lo largo del planeta. En cuanto a las políticas de cooperación internacional para la mitigación del CC, se estima una falta de cooperación y un retraso en las medidas mitigantes y adaptativas que se proponen.

El sistema alimentario sigue enfocado en gran medida en el comercio internacional, ya que la disminución de las capturas y la producción agrícola no logran satisfacer la demanda. Las desigualdades sociales y económicas se profundizan, con los beneficios concentrándose en manos de grandes actores corporativos, dejando a las comunidades locales en una situación de vulnerabilidad. La pérdida de biodiversidad se acelera, poniendo en peligro no solo la viabilidad de las actividades productivas agrarias y pesqueras a largo plazo, sino también la resiliencia de los ecosistemas ante los impactos del CC.

Las restricciones en el uso de la tierra y la deforestación son prácticamente inexistentes. Las dietas se hacen cada vez más materialmente intensivas, sin reducir el desperdicio alimentario y se avanza hacia el mayor consumo de carne a nivel global. Los patrones de especialización productiva se acrecientan y el comercio internacional de materias primas y alimentos aumenta de manera considerable.

Las capturas seguirán disminuyendo según la tendencia actual hasta 2050. Los descartes y desperdicio alimentario en la cadena se mantienen igual. Aunque la acuicultura se sigue planteando como una alternativa a la pesca para la provisión de alimento, la producción mundial no consigue abastecer la alta demanda de proteínas y va disminuyendo progresivamente. La producción se ve gravemente afectada por las condiciones climáticas extremas, enfermedades relacionadas con la acuicultura, y una disminución en la disponibilidad de harinas y aceites de pescado.

A2. Factores climáticos generales asociados

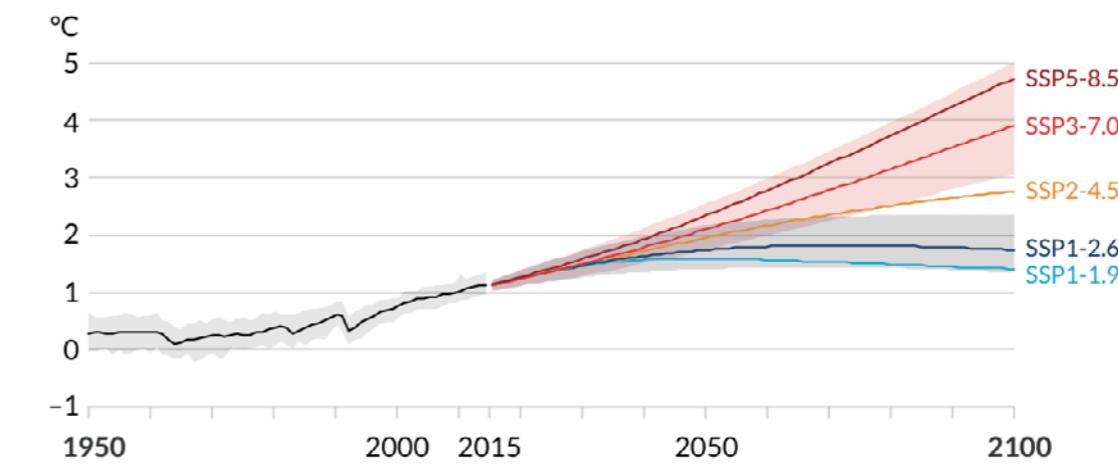
A2.1. Cambios en los factores climáticos según los SSP-RCPs

Se han trasladado las estimaciones de los SSP-RCP descritos anteriormente en el ámbito español a partir del análisis, a nivel provincial, de las series temporales de datos diarios de temperatura y precipitación de los 6 modelos regionalizados de escenarios climáticos para España, disponibles en abierto gracias a AEMET (2023). Dichos modelos se basan en los datos estimados por el IPCC, fuente desde la que también se extraen las predicciones de cambio en las magnitudes que afectan a los sistemas marinos (e.g. temperatura, acidificación) (Gutiérrez et al., 2021).

Considerando las tendencias apuntadas por dichos modelos para los escenarios SSP1-RCP2.6; SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5 (Tabla XXX, Figuras XX; XX), para las precipitaciones se estiman los valores medios mensuales multianuales en 59,41 mm para 2030 y 57,39 mm para 2050., y para la temperatura media mensual multianual en superficie, valores medios de 14,4 °C para 2030 y 15,1 °C para 2050..

	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)		
	SSP1-RCP2.6	SSP2-RCP4.5	SSP5-RCP8.5	SSP1-RCP2.6	SSP2-RCP4.5	SSP5-RCP8.5
2030	59,77	59,04	59,40	14,5	14,4	14,4
2050	57,71	56,94	56,50	14,9	15,0	15,3

(a) Cambio en la temperatura global en superficie con respecto al período 1850–1900



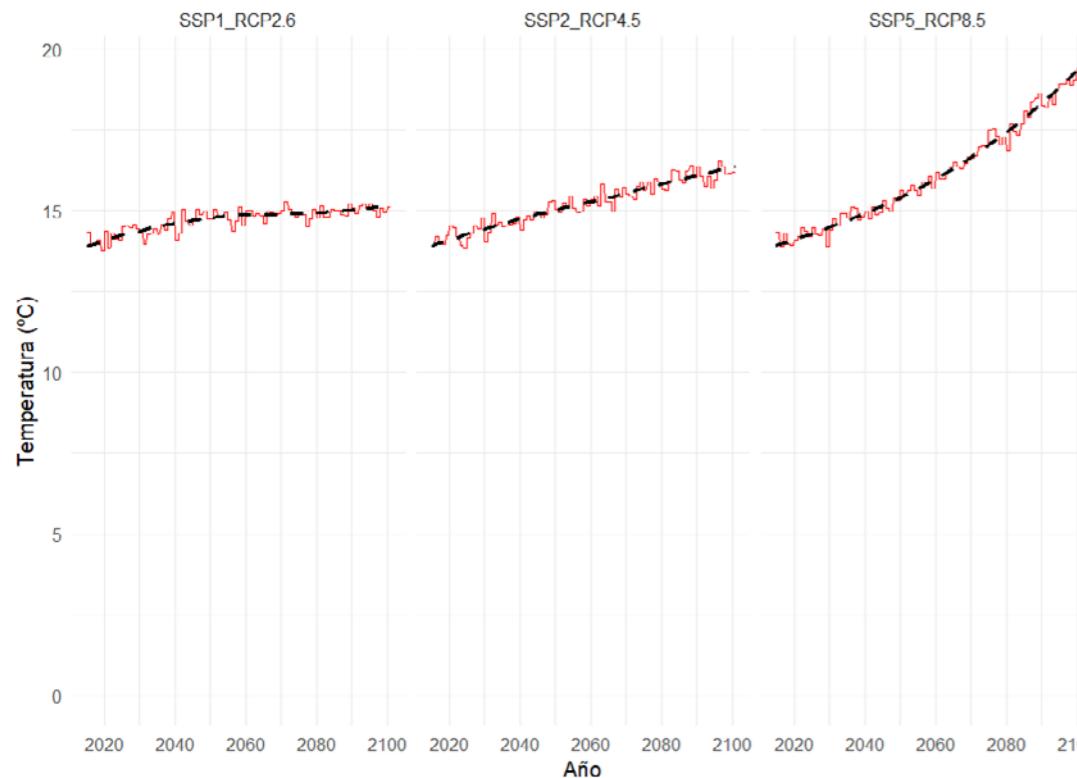
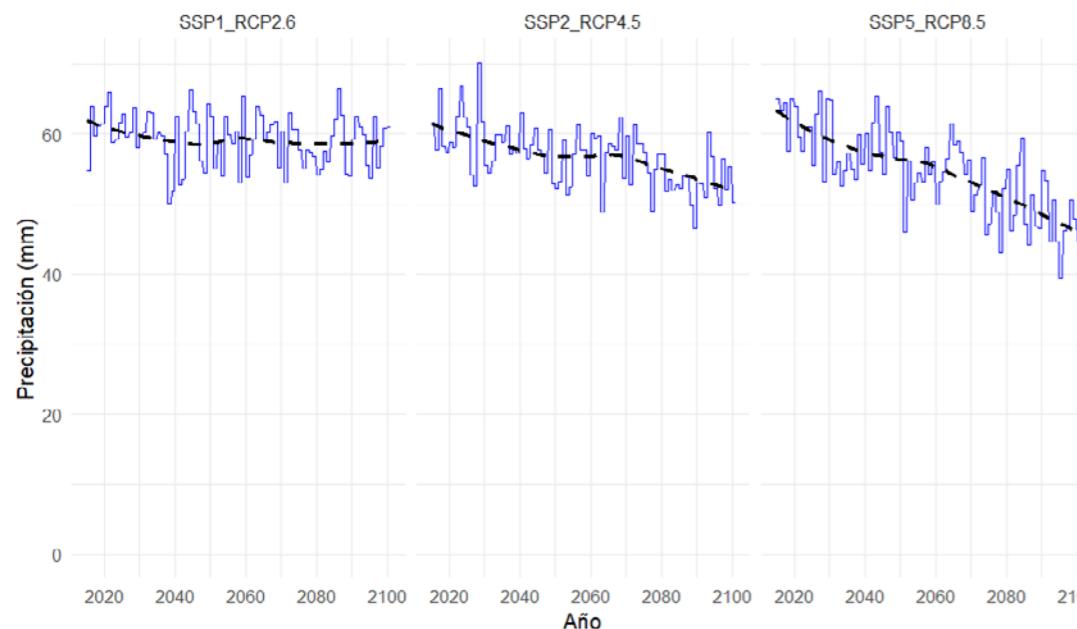


Figura 1
Proyecciones del factor de precipitación media anual a nivel estatal a partir del ensamblaje reducido de los modelos regionalizados del AR6 (AEMET, 2023).

Figura 2
Proyecciones del factor de temperatura media mensual multianual a nivel estatal a partir del ensamblaje reducido de los modelos regionalizados del AR6 (AEMET, 2023).

Cuando observamos las distintas temperaturas que se proyectan en los escenarios climáticos contemplados, observamos ciertas diferencias entre provincias en España. Para el año 2030 las provincias más afectadas por el incremento de la temperatura son las provincias Canarias, con Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas con incrementos de 0,5 a 0,9 °C dependiendo del escenario climático. Le sigue el interior de la península, con Albacete y Cuenca con un rango de entre -0,2 y 0,2 °C. Para 2050 los incrementos de temperatura resultan más obvios y de nuevo aquí las provincias Canarias resultan las más afectadas. Se estiman rangos de incremento de temperatura que oscilan entre los 0,5 y 0,9 °C en ambas provincias, y de nuevo la vertiente mediterránea peninsular es la más afectada, con incrementos de temperatura que van hasta 1,8 °C en el RCP 8.5.

Temperatura 2020

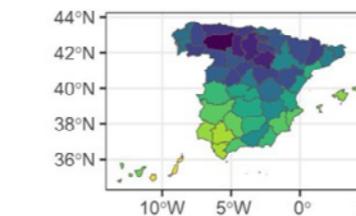


Figura 3
Diferencia de temperaturas en los tres escenarios climáticos para 2030 y 2050, con respecto a la temperatura media actual de cada provincia.

Diferencia de Temperatura respecto a 2020 para los diferentes escenarios

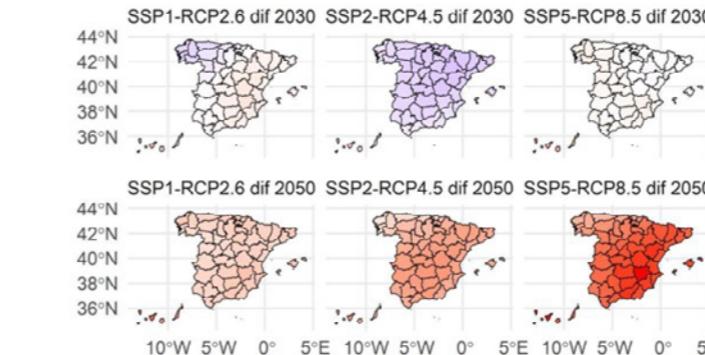


Figura 3
Diferencia de temperaturas en los tres escenarios climáticos para 2030 y 2050, con respecto a la temperatura media actual de cada provincia. En la figura A se representa la temperatura media actual, B-C en el hito 2030 según los tres escenarios climáticos considerados, y E-G la temperatura media provincial en 2050 para los mismos escenarios climáticos.

A2.2. Modelos climáticos marinos

Comparación de Variables Climáticas para Ecosistemas Marinos (2030 y 2050)

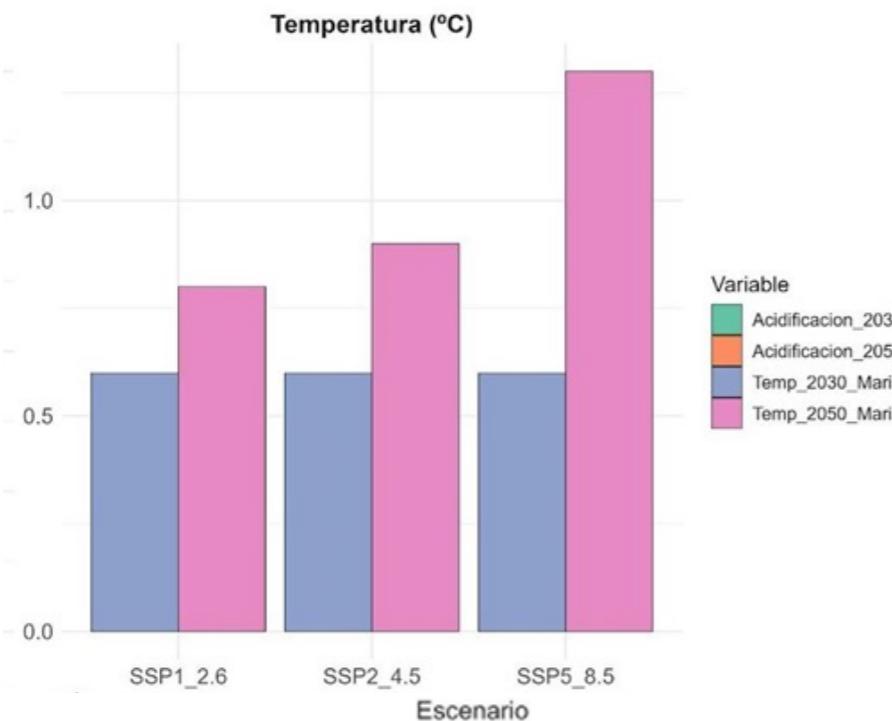


Figura 4
Proyecciones estimadas de cambios en la temperatura para los distintos hitos temporales y escenarios climáticos.

Además de los factores ambientales explicados anteriormente, otras variables como la acidez, explicada a través del pH, y la propia temperatura media de los océanos, afecta a la biomasa de las especies marinas. A partir de los datos del IPCC (Gutiérrez et al., 2021) se ha estimado que el pH para los tres escenarios no presenta cambios, situándose cambios de 0,1 independientemente del escenario climático. En lo que a temperatura se refiere, la temperatura para 2030 se prevé que cambie 0,6°C independientemente del escenario climático. Sin embargo, en lo que al hito temporal 2050 se refiere, la temperatura cambiar 0,8°C para el escenario SSP1-RCP2.6, 0,9°C para el escenario SSP2-RCP4.5 y 1,3 °C para el escenario SSP1-RCP8.5

A3. Los modelos agroalimentarios en el estado español

En este estudio se combinan los SSP descritos con anterioridad, asociados a escenarios globales (SSP) y modelos de variación climática (RCP) procedentes del IPCC que establecen distintas

variables climáticas tendenciales en determinados hitos temporales hasta 2100, con dos modelos agroalimentarios a nivel estatal: Business as Usual (BAU) y BIO+. Así, aunque a nivel mundial se puedan llevar a cabo unos u otros cambios socioeconómicos y políticos, vinculados a los SSP, éstos efectos sobre las proyecciones climáticas se combinan con las posibilidades que brindan los modelos a nivel estatal que se detallan a continuación. Estas combinaciones se aplican para los hitos temporales de 2030 y 2050.

A3.1. Situación actual “Baseline” (modelo base)

La descripción actual de la producción agrícola, ganadera, pesquera y acuícola; las importaciones y exportaciones; producción industrial; el empleo y el consumo doméstico se ha realizado utilizando la media del periodo 2017-2021.

A3.1.1. Usos del suelo y distribución de cultivos y producciones

Se ha estimado los usos del suelo y la distribución de cultivos a partir de la homogeneización de los datos facilitados por el MAPA en sus anuarios de estadística (MAPA 2023a). Los datos de superficie se han completado con la Encuesta de Superficies de esta misma administración (MAPA, 2025b). En el caso de la cabaña ganadera, nos apoyamos en los datos de los anuarios (MAPA, 2025a).

A3.1.2. Uso de insumos

A partir del reparto del uso de productos de síntesis química aplicados en agricultura obtenido en trabajos previos (Aguilera et al., 2015a; 2015b; 2021a), la aplicación total derivada de las estadísticas es distribuida entre las producciones según el tipo de cultivo, el sistema de irrigación y los condicionantes climáticos.

A3.1.3. Capturas pesqueras y acuicultura

En el caso de las capturas de la flota española; las características de la flota (número de barcos y potencia); los descartes, pérdidas y desperdicios se ha utilizado la media del periodo 2017-2020. Para las capturas y producción acuícola se han utilizado las Estadísticas Pesqueras (MAPA 2024b).

A3.1.4. Consumo alimentario

Para la estimación del consumo alimentario se ha optado por el uso de la disponibilidad neta, resultado de estimar la producción y las importaciones de manera agregada, para posteriormente sustraer las exportaciones y los otros usos no alimentarios. Todo ello se ha hecho a partir de los destinos establecidos por FAO (2024).

A3.1.5. Comercio internacional

El comercio internacional se ha estimado a partir de las bases de datos de FAOSTAT (2024). En el caso de las importaciones pesqueras se ha utilizado la media de la serie histórica del periodo 2003-2022 (2024b).

A3.1.6. Desperdicio alimentario y pérdidas

Las fracciones de pérdidas y desperdicio alimentarios de las cadenas se estiman como un porcentaje con respecto a la disponibilidad bruta en cada eslabón de la cadena, siguiendo con la metodología de Gustavsson et al., 2011.

A3.2. Modelo “Business As Usual” (BAU)

En este modelo se asume un modelo continuista donde no se realizan cambios significativos en el sistema alimentario y se mantiene su tendencia actual. Todos los indicadores siguen la misma tendencia histórica en los tres escenarios climáticos globales proyectados en los hitos temporales 2030 y 2050.

A3.2.1. Usos del suelo y distribución de cultivos

Se asume la misma distribución de los usos del suelo y tipos de cultivo del periodo de referencia, a nivel provincial, basado en el Anuario de Estadística Agraria (MAPA, 2023a). La superficie ecológica se estima extrapolando linealmente hacia el futuro su crecimiento medio anual (en número de hectáreas) en el periodo 2001-2022, según reporta la Estadística de Producción Ecológica (MAPA, 2024a).

En cuanto a las variedades de cultivo asumidas en este modelo, se mantiene la utilización de las variedades modernas de cultivos.

A3.2.2. Gestión de residuos de cosecha

Se asume que en este modelo la gestión de los residuos de cosecha se mantienen como en la actualidad, con porcentajes de quema obtenidos del Inventario Nacional de Emisiones y de cosecha del Anuario de Estadística Agraria (MAPA, 2023a).

A3.2.3. Regadíos

Pese a que las Demarcaciones hidrográficas comienzan a limitar el uso del agua en los planes para el ciclo 2022-2027, es reconocido el uso ilegal de depósitos subterráneos que impide conocer con exactitud el uso de agua por parte de los regadíos. Además, pese a las limitaciones establecidas por las autoridades, también es reconocida la existencia de medidas de flexibilización que mantienen el uso de los acuíferos por encima de la legislación. Por todo ello, en el modelo BAU se ha optado por no restringir el uso del agua y mantener la estructura y reparto de los tipos de regadíos por cultivo y provincia del periodo de referencia.

A3.2.4. Carga ganadera

Se asume que la cabaña se estabiliza y no crece más en el modelo BAU, ya la cabaña de la mayoría de especies ha permanecido relativamente estable en la última década (MAPA, 2023a), y en el caso del porcino, pese a haber crecido en casi 10 millones de cabezas (un 36%) entre 2012 y 2021, en los últimos años muestra signos de estabilización: el número de cabezas reportado por la Encuesta Ganadera de noviembre de 2024 (MAPA, 2025) fue similar al reportado por el Anuario de Estadística Agraria para 2021 (34,5 millones de cabezas) (MAPA, 2023a).

A3.2.5. Uso de insumos en la agricultura

La aplicación de insumos se encuentra estabilizada en España en las últimas décadas. Por ejemplo, la cantidad de nitrógeno sintético aplicado es en la actualidad similar a la de 1990, en torno a 1 millón de toneladas de N. Por tanto, en modelo BAU se ha asumido la misma tasa de aplicación que en la actualidad en manejo convencional, estando la cantidad total aplicada influida solamente por los porcentajes de superficie convencional y ecológica.

A3.2.6. Capturas pesqueras y producción acuícola

Para este informe asumimos que la evolución de las capturas en el modelo BAU seguirá la misma tendencia de la serie histórica de capturas del periodo 1992-2022. Para esto se ha utilizado la base de datos de las estadísticas de captura y desembarcos de pesca marítima del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Los datos originales utilizados para la reconstrucción histórica proceden de las series de la estadística pesquera del Ministerio de Agricultura (MAPA, 2024b). Los modelos estadísticos aplicados para realizar las proyecciones han sido: i) modelo lineal generalizado (GLM) con distribución Gauss para las capturas en los calderos nacional y comunitario, ii) modelo ETS (A,A,N) para las capturas en caladeros no comunitarios.

Además, para los hitos temporales de 2030 y 2050 se han aplicado las variaciones de disminución de las capturas propuestas por Blanchard y Novaglio (2024) que consideran exclusivamente los efec-

tos del CC, sin contemplar las variaciones derivadas de la gestión de pesquerías. Todo ello se recoge a través de coeficientes de variación aplicados para los sectores de la pesca y la acuicultura que se detallan en el siguiente documento (ver [documento Excel](#) adjunto).

Las zonas de protección influencian la biomasa que se deriva desde Áreas Marinas Protegidas (AMP), a pesar de estar sujetas por ley, hoy en día no están siendo gestionadas correctamente y por tanto, no están derivando en efectos beneficiosos sobre los stocks pesqueros. En este sentido, en el BAU no se asume el efecto de las zonas de protección sobre la biomasa susceptible de ser capturada en los hitos 2030 y 2050. En el BAU la producción acuícola nacional para los hitos 2030 y 2050 se ha proyectado a partir de la tendencia de la serie histórica de datos del periodo 2003-2022. Esta tendencia se ha aplicado a los datos de acuicultura disponibles en EUMOFA (2024a), los cuales tienen una mayor desagregación que los presentes en MAPA (2024b). En este caso se ha ajustado la tendencia histórica de los datos a un modelo estadístico ETS (A,A,N). Los coeficientes de variación aplicados parten de la publicación de Oyinlola et al. (2021) pero no se ajustan a los escenarios ni a los hitos temporales de la publicación.

A3.2.7. Consumo alimentario

El consumo alimentario per cápita se ha asumido que permanece estable en los niveles del Escenario Base.

A3.2.8. Comercio internacional

El comercio internacional se ha ajustado en el modelo BAU para, considerando los cambios en la producción debidos al cambio climático, mantener los niveles de consumo per cápita de alimentos y la demanda de piensos de la situación actual.

En el caso de las importaciones pesqueras se ha utilizado de nuevo la tendencia de la serie histórica del periodo 2003-2022 aplicada a los datos de comercio de EUMOFA (2024b). En este caso se ha ajustado la tendencia histórica de los datos a un modelo estadístico ETS (A,A,N).

Tanto la asunción de mantener los niveles de consumo de alimentos, como la relacionada con el abastecimiento de la cabaña ganadera, nos parece asumible en la medida en la que, a pesar de los efectos del cambio climático y los SSP, el modelo BAU perseguirá mantener los actuales niveles de consumo, independientemente de que las zonas de origen puedan cambiar. En el caso de la exportación, los flujos se han estimado restando el consumo a la suma de producción e importaciones.

A3.2.9. Desperdicio alimentario y pérdidas

En el modelo BAU las fracciones de pérdidas y desperdicio alimentarios sobre el consumo permanecen inmutables en los dos hitos temporales, estimados como un porcentaje con respecto a la disponibilidad bruta en cada eslabón de la cadena, siguiendo con la metodología de Gustavsson et al., 2011.

A3.2.10. Envasado

Se estima la fracción de productos frescos que se comercializan envasados en base a la penetración de los canales de venta tipo supermercados, hipermercados y grandes superficies con respecto al consumo en los hogares indicado por el Panel de Consumo Alimentario (MAPA, 2023b) mientras que los productos procesados para consumo humano se comercializan todos ellos envasados.

A3.3. Modelo de Transición ecológica (BIO+):

En este modelo se propone una transición hacia un sistema alimentario sostenible y saludable, en base a una serie de prácticas en la producción y en el consumo, cuya base se explica a continuación.

A3.3.1. Manejo de cultivos

- **Conversión a manejo ecológico**, de manera gradual según los hitos, alcanzando el 100% de la superficie convertida hacia el hito 2050. Esto incluye la eliminación del uso de insumos químicos de síntesis (fertilizantes y pesticidas). Esta conversión al manejo ecológico se acompaña con la generalización de una serie de prácticas que contribuyen a incrementar su sostenibilidad, que se detallan en los siguientes puntos.
- **Utilización de variedades tradicionales de cereales de invierno** (avena, cebada y trigo), que han demostrado tener un mejor desempeño agronómico y ambiental bajo manejo ecológico en condiciones mediterráneas. En particular, son capaces de mantener los rendimientos al tiempo que incrementan la biomasa total producida y la biodiversidad de arvenses (Carranza-Gallego et al., 2018, 2019, 2021, García-Ruiz et al., 2019). El uso de estas variedades implica cambios en los índices de cosecha y en la proporción de raíz-biomasa aérea, que son parámetros clave en la productividad primaria neta (PPN) de los cultivos. La implementación se asume al 100% para 2030 y se mantiene en ese porcentaje en 2050.

- **Generalización del uso de cubiertas vegetales** en todos los cultivos leñosos y en el periodo intercultivo de cultivos herbáceos de regadío como una práctica para mejorar la cobertura del suelo, reducir la erosión, secuestrar carbono y mejorar la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno y la adición de materia orgánica. En cuanto a los hitos temporales, se implementan dichas coberturas al 100% en el 2050, de las cuales el 80% son semilladas en los cultivos leñosos para 2030 y se mantiene constante dicho porcentaje de semillado para 2050.
- **Sustitución de barbechos blancos a cultivos de leguminosas grano en el caso de secano y a hortalizas, remolacha y patata en el caso del regadío**, alcanzando un 100% de sustitución en 2050. El barbecho blanco, que constituye la práctica totalidad de los existentes en la SAU española, dejaría lugar a cultivos que fijan N y C. Además, la flora asociada también se convierte en fijadora, con un doble efecto mucho más eficiente que en el caso del barbecho. Por otro lado, los arados sucesivos, asociados habitualmente al barbecho, que promueven la erosión y la mineralización de la materia orgánica del suelo, dejan paso a la cubierta generada por los cultivos, que poseen el efecto contrario.
- **Eliminación de la quema de residuos de cosecha**, en favor de su uso para alimentación animal y su incorporación al suelo. Estos usos contribuyen a la circularidad y sostenibilidad de los agroecosistemas (Mueller y Lassaletta, 2020; Pardo et al., 2016).
- **Distribución entre cultivos del estiércol y otras enmiendas orgánicas disponible a nivel provincial cultivos en base a las prácticas actuales de la agricultura ecológica** (Guzmán et al., 2024), con la excepción de las leguminosas, con las que se entiende que como fijadoras de nitrógeno no precisan fertilización nitrogenada adicional.
- **Incorporación al suelo de los fertilizantes orgánicos en el momento de ser aplicados**, reduciendo de este modo las pérdidas de NH₃ por volatilización.
- **Limitación del agua de riego**. Se establece la necesidad de reducir el uso de agua en el regadío, en línea con distintos informes⁸, artículos académicos (Corominas y Cuevas, 2017; Sampedro-Sánchez, 2022), y la información oficial de las Demarcaciones Hidrográficas según los planes hidrológicos vigentes (2022-2027)⁹. A partir de las proyecciones realizadas en dichos planes a 2027, se ha identificado que hay Demarcaciones que tienen planeado mantener o reducir la oferta de agua para uso agrícola, mientras otras incluso la incrementan

⁸ Ver La Roca, F. y Martínez, J. (2022). Retos de la planificación y gestión del agua en España. Informe 2022. Observatorio de las Políticas del Agua (OPPA). Fundación Nueva Cultura del Agua.

⁹ Más información: [Aquí](#)

(Cantábrico Oriental, Duero, Ebro, Miño-Sil, Galicia costa, Tinto-Odiel y Piedras). Dado que la unidad de análisis para el balance hídrico en el presente estudio es a nivel provincial, se ha ponderado la distribución espacial de cultivos de regadío de nivel de Demarcación a nivel provincial desde la última versión del mapa de alta resolución del SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España¹⁰). A partir de dicha ponderación se pudo establecer, a partir de los consumos medios actuales provinciales, un umbral de demanda agrícola provincial a partir del cual se generarían tensiones en el uso del agua y se estaría sobrepasando la oferta prevista por la Demarcación Hidrográfica. Estas cantidades se han establecido como límites máximos en el uso de agua de riego de cada provincia. Para no superar estos límites, en las provincias, y cortes temporales, donde se estima un consumo de agua superior, se ha transformado a secano la superficie irrigada buscando no superar el límite, con el siguiente orden de prioridad:

- > En primer lugar, se transforma a secano la superficie cultivos (excluyendo leguminosas) cuya producción se destina a pienso para la cabaña ganadera, y que se riegan con sistemas de riego distintos al tradicional (aspersión o goteo).
- > En segundo lugar, el resto de superficies con cultivos destinados a piensos, incluyendo cultivos de leguminosas y sistemas de riego tradicionales.
- > En tercer lugar, el olivar y el almendro con sistemas de riego no tradicionales.
- > En cuarto lugar, el resto del olivar y almendro, incluyendo el riego tradicional.
- > En quinto lugar, todos los demás cultivos de regadío.

A3.3.2. Usos de energía en agricultura y ganadería

- **Implementación de prácticas eficientes en el uso de energía en la producción de cultivos**, principalmente asociadas a la reducción del laboreo. Se asume que estas prácticas se implementarán al 100% en 2030. El ahorro de energía asociado a estas prácticas se ha estimado basándose en las entrevistas llevadas a cabo durante proyectos de investigación previos, de las que se toma el 20% de los casos más eficientes de una muestra estadísticamente representativa de agricultores y agricultoras ecológicos y que han sido publicados en artículos científicos (Aguilera, et al., 2015a, 2015b; Guzmán et al., 2024).

¹⁰ [Aquí](#)

- **Producción de biocombustible para su uso por la maquinaria agrícola.** El objetivo de esta medida es lograr la autosuficiencia en el uso de combustible en la agricultura, eliminando el uso de combustible de origen fósil y sus problemas asociados de emisiones de GEI y no renovabilidad. Para simplificar la modelización, se ha asumido que este biocombustible sería cebada, cuyo principal uso actual es la alimentación animal. La modelización se ha realizado siguiendo el método descrito en Aguilera (2009). La fermentación del grano genera un subproducto rico en proteína que se usaría para alimentación animal. Toda la proteína que contiene se puede seguir usando para alimentación animal, de manera que apenas afecta a la cabaña ganadera. La destilación para obtener el etanol requiere energía térmica, que procedería de la paja del cereal. Se asume que todo el combustible se obtiene de esta manera 2050, fijando el valor para 2030 según una proyección lineal.
- **Uso de energía solar en el regadío y en ganadería.** Se asume que el 100% de la energía empleada en la actividad agraria para iluminación, calefacción y motores estacionarios sería de origen solar en 2030 (manteniendo este valor en 2050), una meta que se ha considerado factible dada la elevada implantación de la energía solar que existe actualmente en España.

A3.3.3. Manejo de superficies no cultivadas

- **Las superficies de los usos del suelo a nivel provincial se mantienen constantes respecto al escenario Base, pero dentro de la superficie forestal se modifica el manejo.** El objetivo es optimizar tanto la disponibilidad de biomasa pastable como la retención de carbono atmosférico. Esto implica el aumento de la biomasa pastable hasta un 20% de la biomasa aérea producida en 2050, lo que se considera viable tanto por un incremento en la proporción de hierba, como también por la adaptación del ganado mediterráneo al consumo de biomasa de arbustos (Oikonomou et al., 2023). Esto no solo permite disponer de un aprovechamiento silvopastoril, sino que también supone una estrategia de prevención de incendios y de mejora de la sostenibilidad. Muchos estudios muestran el papel de la ganadería extensiva en la prevención de incendios en ambientes mediterráneos (Aguilera et al. 2020), principalmente a través de la reducción de la carga de material combustible (Oikonomou et al., 2023). Además, estos manejos silvopastoriles se encuentran respaldados por la literatura científica que subrayan los beneficios socioambientales de la combinación de manejos forestales y pastoriles en el territorio (Cruz-Moriana et al., 2024; Mancera et al., 2018; Marull et al., 2015, 2018; Padró et al., 2020;

Plieninger et al., 2018). Se ha asumido que este manejo contrarrestaría el incremento en la incidencia y extensión de los incendios provocado por el cambio climático, lo que permitiría que el contenido de carbono en la biomasa forestal en los escenarios BIO sea similar al de los escenarios BAU, pese a incrementar la proporción de biomasa pastable sobre biomasa leñosa en la PPN.

- **La carga ganadera de los distintos usos del suelo se ajusta a la biomasa potencialmente pastable,** de modo que el aprovechamiento de los pastos se incrementa hasta su máximo nivel sostenible en 2050. Estos niveles de uso sostenible o adecuado de pastos se han establecido en el rango de 20%-50% dependiendo de la productividad de la provincia, un rango similar pero algo más conservador que el propuesto por Pipponen et al. (2022) en su análisis global de la carga ganadera (20%-65%). De este modo, en la mayoría de provincias se incrementan las ratios de utilización del pasto para la alimentación animal, que en la actualidad no superan el 10% en promedio (Guzmán-Casado et al, 2018).
- **Mejora del manejo de los pastos,** incrementando un 10% su producción de biomasa respecto a la productividad sin mejora para 2050, lo que se basa en estudios que muestran que el manejo del pastoreo puede incrementar la productividad de la biomasa de los pastizales (McDonald et al., 2019, Tegue y Kreuter, 2020, Jordon et al., 2022). Esta mayor productividad supone un mayor aporte de carbono al suelo. Se ha estimado que un manejo adecuado de los pastos puede incrementar el contenido de carbono en suelos en un 10% (Conant et al., 2017).

A3.3.4. Ganadería

El tamaño de la cabaña ganadera vendrá definido por la capacidad del territorio de alimentar al ganado. Esta capacidad depende a su vez de la disponibilidad de los componentes de las dietas de las distintas cabañas ganaderas, que se determina por las transformaciones en el pastoreo de las superficies no cultivadas, la restricción de las importaciones (eliminación de pienso importado), la priorización hacia el consumo humano de los destinos de los cultivos con doble uso (humano y animal), el uso de residuos de cosecha, y el efecto del cambio climático y del manejo sobre la producción. Para diversificar la cabaña, la producción y el consumo de productos de origen animal, dentro de los rumiantes se priorizan los pequeños rumiantes, y dentro de los monogástricos se priorizan las aves.

A3.3.5. Capturas pesqueras y producción acuícola

En este modelo, toda la pesca de arrastre, el palangre de superficie y la pesca industrial (que incluye los grandes buques congeladores de arrastre y cerco) va desapareciendo progresivamente, a un ritmo tal que en el 2030 se reduce el 30% de su uso actual y en 2050 se elimina completamente. Además, consideramos una sustitución del volumen de pesca de arrastre hacia artes menores. Para ello, nos basamos en la restricción de días de pesca de la Comisión Europea que se recoge en el Plan de Gestión de especies demersales, que ha pasado de permitir 240 días de faenado en 2019 a reducirlo a 130 en 2024 (CE 2019/1022). Considerando que el volumen de pesca es proporcional al número de días de faenado, se asume que el volumen de capturas proyectado en los dos hitos temporales para la pesca de arrastre en el caladero nacional se reduce al 45% con la reducción de días. En el modelo BIO+ asumimos que el 55% del volumen de pesca restante que cubriría la pesca de arrastre se reasignado proporcionalmente a las artes de pesca menores gracias a políticas adecuadas de reconversión de la flota.

Además, se asume la implementación de Espacios Marinos Protegidos (30% del caladero nacional para 2030) y zonas de protección estricta donde se prohíbe la pesca (10% del caladero nacional). El efecto de exportación (spill over) desde estas zonas a las zonas susceptibles de actividad pesquera en el caladero nacional queda reflejado en el aumento de las capturas de los artes no eliminadas en este modelo, siempre considerando las variaciones de biomasa disponible conforme a los modelos climáticos (ver más arriba). La producción acuícola se limita a la producción de mejillones y otros bivalvos. Se elimina la acuicultura de especies piscívoras. De igual modo que se aplica en el modelo BAU, para compensar las pérdidas causadas por el efecto del cambio climático en las capturas, en este modelo se plantea un escenario optimista donde el efecto del cambio climático no afecta a las instalaciones acuícolas y las medidas técnicas de innovación permiten incrementar la producción progresivamente en los hitos 2030 y 2050. Todo ello se recoge a través de coeficientes de variación aplicados para los sectores de la pesca y la acuicultura que se detallan en el siguiente documento (ver [documento Excel](#) adjunto).

A3.3.6. Desperdicios y pérdidas

Se asumen cambios en la gestión de residuos y en la fracción que se desperdicia con meta en 2050, con el punto intermedio para 2030.

— **Recuperación de los principales residuos de agroindustria** (orujo de uva de las bodegas y alperujo de aceituna de las almazaras) **y de los residuos orgánicos urbanos para su aplicación al suelo para 2050.** El objetivo es contribuir a la circularidad de los ciclos de nutrientes y a incrementar los niveles de materia orgánica del suelo. Se emplearían prácticas como el compostaje, un método de gestión de residuos or-

gánicos de bajas emisiones de gases de efecto invernadero (Pardo et al., 2014). Se asume que la eficiencia del reciclaje de nitrógeno es del 70%, ya que siempre existen pérdidas inevitables durante la gestión de residuos.

— **Reducción del desperdicio alimentario**, lo que incrementa la ingesta de la población y los animales en relación a la disponibilidad. Se asume una reducción del 50% en el desperdicio alimentario (ej. Springmann et al., 2018) y del 66% en el desperdicio de piensos.

Respecto a los descartes pesqueros se reducen sin llegar a desaparecer conforme a un criterio de sostenibilidad definido por el grupo de autores, y cotejado con un grupo de expertos vinculado a Alimentta. Los valores son de reducción de paulatina (2030: -25%, 2050: -50%)

A3.3.7. Uso industrial en las cadenas alimentarias pesqueras

Teniendo en consideración los volúmenes totales de consumo de referencia y la oferta alimentaria disponible, y reconociendo la interrelación existente entre las cadenas alimentarias frescas y congeladas del sector pesquero e industrial, se han asignado comportamientos a las cadenas alimentarias reduciendo el uso industrial de capturas pesqueras en el modelo BIO+ para favorecer el consumo en fresco, y que esta fracción represente el 20% del consumo total.

A3.3.8. Comercio internacional

El modelo de transición que se propone restringe las importaciones paulatinamente según los hitos seleccionados, disminuyendo progresivamente las importaciones actuales hasta alcanzar el 100% de reducción en 2050. Del otro lado, las exportaciones en este caso vienen restringidas al abastecimiento alimentario, es decir, se exportará tanto volumen de productos como resulte excedente una vez se hayan cumplido las expectativas de un consumo alimentario saludable (véase el siguiente apartado). Se mantienen importaciones de alimentos que no pueden ser producidos aquí y forman parte habitual de la dieta (café, té, especias, etc.)

A3.3.9. Envasado

Se estima que los productos frescos se comercializan sin envasado mientras que los productos procesados para consumo humano se comercializan envasados en el hito 2030.

A3.3.10. Consumo

Como principio básico se estima que el consumo de azúcar se reduce un 50%, el de hortalizas se dobla (200%), el de frutas se incrementa un 50%, y el de legumbres se triplica (incremento del 300%) en el hito 2050, siendo un punto intermedio en el 2030.

A4. Metodología de cálculo de los indicadores

A4.1. Aspectos generales de la modelización

La modelización de todos los indicadores de los agroecosistemas ha partido de un detallado análisis de inventario de todas las entradas y salidas de materiales, energía, carbono, nitrógeno y emisiones realizada a nivel de provincia (50 provincias), uso del suelo (cultivos, pasto y matorral, dehesa, bosque de coníferas, bosque de frondosas y otros usos), manejo (ecológico o convencional), cultivo (134 tipos de cultivo), categoría (secano, regadío al aire libre e invernadero) y tipo de riego (tradicional, aspersión, goteo y cultivos inundados), y en el caso de la ganadería a nivel de provincia y de especie animal, durante el periodo de referencia (2017-2021). Este análisis de inventario se basa principalmente en datos estadísticos del Anuario de Estadística Agraria, del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera, y de FAOSTAT, que junto con coeficientes obtenidos de distintas fuentes alimentan los modelos empleados para caracterizar los distintos flujos, según se detalla en los distintos apartados de la metodología. Las huellas ambientales calculadas a nivel de cultivo y animal se han trazado a través de las cadenas de suministro combinando estos datos provinciales con datos a nivel nacional de producción de procesados, de destino de los productos agropecuarios, pesqueros y procesados, y de comercio exterior bilateral de todos los productos agropecuarios y pesqueros, obtenidos principalmente de FAOSTAT. Estos datos, junto con coeficientes de desperdicio, también permiten reconstruir las dietas. Para el cálculo de las huellas ambientales de las dietas se ha seguido un enfoque de ciclo de vida, cuantificando todas los impactos directos y derivados de la producción de insumos. Se ha seguido un criterio de asignación económica para distribuir emisiones en procesos multi producto (como paja y grano en el cultivo de cereal, leche, carne y pieles en la cría de vacuno, o torta y aceite en el procesado de semilla de girasol) distribuyendo las emisiones proporcionalmente al valor monetario de los coproductos.

A4.2. La producción de biomasa

La producción primaria es el término usado para identificar la biomasa producida o acumulada como consecuencia del proceso de fotosíntesis o quimiosíntesis a partir de materia inorgánica (Haberl et al., 2007, 2014). Puede dividirse en productividad bruta y neta. **La productividad primaria neta (PPN)** es de especial interés ya que incluye la parte de la energía solar captada por la fotosíntesis que se convierte en energía que realmente se incorpora a los tejidos vegetales, incrementando la biomasa acumulada con respecto a períodos previos. Así, la PPN mediría el flujo anualizado de incremento de la materia orgánica producida como consecuencia del crecimiento de las plantas. En el caso de los cultivos, esta biomasa podrá formar parte de las diferentes fracciones del cultivo, entre las que se encuentra la propia biomasa cosechada en forma de producto o residuo de cosecha, pero también el tejido vegetal aéreo y radicular, parte del cual en el caso de las categorías leñosas como bosques o frutales queda fijado en forma de materia leñosa como stock de carbono. Asimismo, se incluye la biomasa aérea y radicular de la vegetación arvense que crece en el terreno, ya sea durante el periodo de cultivo o en el periodo intercultivo.

En el metabolismo agrario, cabe destacar que parte de esta PPN, además de ser socializada para su consumo, tiene una función específica en el mantenimiento de las poblaciones heterótrofas, por lo que la intervención en los agroecosistemas configura los destinos de esta NPP para sus diferentes cadenas tróficas, y de este modo su efecto sobre la biodiversidad. Todo ello está explicado en bibliografía previa de los autores de este informe (Guzmán-Casado & González de Molina, 2015; Guzmán-Casado & González de Molina, 2017; Tello et al., 2015). Otra parte de la producción de biomasa aérea es la biomasa quemada, tanto de residuos de cosecha como en incendios forestales. En el caso de los incendios forestales, se han recopilado datos provinciales de superficie quemada por usos del suelo de la Estadística General de Incendios Forestales (MITECO, 2024a), y datos de stock de carbono (véase sección de balance de carbono en biomasa), con los que se ha estimado la biomasa quemada en el Escenario Base. Las proyecciones futuras de la biomasa quemada en incendios se han realizado teniendo en cuenta que los modelos climáticos proyectan un incremento en los porcentajes de superficie quemada en España, que es mayor cuanto mayor sea el calentamiento. Los porcentajes de incremento de las superficies quemadas se han estimado a partir del promedio de los resultados de los modelos estacionario y no estacionario de Turco et al. (2018), y se sitúan entre el 70% y el 200% en 2050 respecto a su valor actual. Además, para estimar la biomasa quemada en incendios también se ha tenido en cuenta el cambio en los stocks de carbono de las masas forestales.

En el metabolismo pesquero, la PPN define la biomasa de los océanos requerida para sustentar un volumen de capturas determinado (Pauly y Christensen, 1995). La estimación de la PPN se suele calcular a partir de la información procedente de los valores de los niveles tróficos.

cos de las especies capturadas, la transferencia energética entre cada uno de los niveles, y la productividad primaria de las zonas consideradas.

Este parámetro, independientemente de si se trata de su estimación en sistemas agrícolas o pesqueros, es la base sobre la que se incorpora el efecto del cambio climático en la productividad potencial en los escenarios del modelo. Así, las previsiones de temperatura y pluviometría previstas por los SSPs para la región en la que se encuentra España afectarán a los rendimientos y capturas en los hitos temporales de estudio.

- En los **sistemas de cultivo**, la estimación del rendimiento se realiza mediante la metodología GRAFS (Generalized Representation of Agri-Food Systems), que analiza los flujos de nitrógeno (N) en el sistema agroalimentario europeo (Billen et al., 2024). Esta metodología utiliza una relación entre el rendimiento de los cultivos (Y) y la fertilización (F) expresada como $Y=F+Y_{max}/Y_{max}\cdot F$, donde Y_{max} representa el rendimiento máximo alcanzable.. Siguiendo a Billen et al. (2024) el cálculo se realiza a nivel de rotación completa (o cultivos leñosos individuales) y se asume que el rendimiento de las leguminosas es independiente de la fertilización. Este parámetro se calibra con datos de rendimiento y fertilización provinciales, lo que permite ajustar las estimaciones de PPN a las condiciones específicas de cada área agrícola. Además, en este trabajo se ha tenido en cuenta el efecto del clima sobre la Y_{max} mediante un modelo "machine learning", concretamente un Random Forest lo que ha permitido incorporar el efecto del cambio climático sobre el rendimiento en los escenarios. Para validar la efectividad del modelo de Random Forest, se aplicó el método de validación cruzada (cross-validation) en el conjunto de datos. Este enfoque consistió en dividir el conjunto de datos en 10 subconjuntos (o folds), asegurando que el modelo fuera entrenado y evaluado múltiples veces con diferentes particiones de los datos. El rendimiento del modelo se evaluó mediante varias métricas clave:

1. Métricas de Referencia:

- > **RMSE (Root Mean Squared Error):** 37.70
- > **R-cuadrado:** 0.679

Estas métricas indican que el modelo explica aproximadamente el 67.9% de la varianza en la variable dependiente (Y_{max}), lo cual es bastante aceptable considerando la complejidad y la variabilidad inherente a los datos agrícolas. El valor de RMSE de 37.70 indica que las predicciones del modelo, en promedio, están a una distancia de 37.70 unidades de los valores originales de Y_{max} .

2.

Importancia de las Variables: El análisis de la importancia de las variables en el modelo mostró que tanto la **temperatura** como la **precipitación** tienen un impacto significativo en la predicción de Y_{max} . A través de la técnica de *permutation importance*, se determinó que estos factores climáticos tienen un mayor peso que otras variables del modelo, como las características del suelo o las prácticas de manejo agrícola.

También se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para explorar cómo las predicciones del modelo cambian bajo diferentes escenarios de variabilidad en las variables de entrada, como la temperatura y la precipitación. Los factores de escala utilizados fueron 0.75, 0.90, 0.95, 1.05 y 1.10.

Por otro lado, en todos los escenarios, incluido el escenario Base, el resto de componentes de la PPN se ha estimado aplicando coeficientes alométricos (Guzmán et al., 2014).

- **La producción de biomasa de las plantas no cultivadas**, tanto pasto y vegetación leñosa de usos del suelo no agrícolas, como vegetación arvense de los cultivos, la producción de biomasa se ha estimado mediante el modelo global NCEAS (Del Grosso et al., 2008), que tienen en cuenta el efecto de la pluviometría y del tipo de vegetación.
- La proyección de la **producción acuícola** sigue la propuesta de variación realizada por Oyinlola et al. (2022), quienes proyectan la producción global de la maricultura bajo distintos escenarios globales de CC. Este estudio evalúa las trayectorias de adaptación para la acuicultura marina, destacando cómo los diferentes niveles de emisiones influyen en la productividad de la maricultura en diferentes regiones del mundo. Los resultados se centran en el impacto de factores como el calentamiento de los océanos, la acidificación y la disponibilidad de nutrientes, los cuales afectan a la producción de especies acuáticas clave. Estas asunciones parten de la estimación de la PPN clorofílica y las cadenas tróficas, por lo que basamos los cálculos a partir de este dato y ajustando la tendencia de la serie histórica según un modelo predictivo de suavizamiento exponencial del tipo ETS (Hyndman et al., 2002).

- La proyección de las **capturas pesqueras** en los escenarios globales sigue la propuesta de variación realizada por Blanchard y Novaglio (2024) como resultado del proyecto FishMIP¹¹. Este estudio hace una proyección de la variación de la biomasa explotable bajo los modelos climáticos SSP1-RCP2.6 y SSP5-RCP8.5, dos de los escenarios climáticos escogidos aquí y que representan los escenarios extremos dentro de los SSPs. En el estudio de Blanchard y Novaglio (2024), los valores de cambio se expresan como porcentajes de variación

¹¹ [Aquí](#)

(%V) para España (caladero nacional, ver Tabla 4A, pág. 85) y por zonas FAO (caladeros comunitarios y no comunitarios, ver Tabla 7, pág. 35) para los años 2050 y 2100. Para el escenario global SSP2-RCP4.5 se propone utilizar el punto medio de variación entre los otros dos escenarios globales indicados anteriormente.

Se ajusta la proyección a futuro de la producción de España según un modelo predictivo de suavizamiento exponencial del tipo ETS (Hyndman et al., 2002) y se aplica dicha producción a ambos modelos de transición. Estos modelos identifican el error, la tendencia y la temporalidad, así como la forma de los mismos, optimizando el error para obtener una proyección afinada. Los datos originales utilizados para la reconstrucción histórica proceden de las series de la estadística pesquera del Ministerio de Agricultura (MAPA, 2024b).

A4.3. Balances de nitrógeno y carbono

Los balances de nitrógeno y carbono permiten una caracterización biofísica del sistema, pero también son necesarios para el cálculo de algunos de los indicadores ambientales estudiados. En particular, todas las emisiones biogénicas se estiman en estos balances y son parte del cálculo de la huella de carbono. Esto incluye las emisiones de N₂O del suelo (directas e indirectas) y de la quema de residuos, y la emisión o secuestro de carbono derivada de los cambios de stocks en la biomasa y en el suelo. El lixiviado de nitrato se emplea en el cálculo del agua gris.

Balances de nitrógeno en suelos de cultivos y otros usos del suelo. Se realizaron siguiendo la metodología descrita en Aguilera et al. (2021a), con ligeras modificaciones. En resumen, se cuantificaron por un lado todas las entradas en forma de fertilizantes orgánicos y sintéticos, depósito atmosférico, y fijación biológica de nitrógeno, y por otro lado todas las salidas en forma de producto, residuo cosechado, biomasa pastada, biomasa quemada, volatilización de amoníaco, nitrato lixiviado y pérdidas gaseosas. Además, se tuvieron en cuenta los cambios en los stocks de nitrógeno contenido en la biomasa acumulada y en la materia orgánica en el suelo, que significan un aporte de nitrógeno en el balance cuando hay una pérdida in situ de stock (por ejemplo, la biomasa de las raíces y tocónes de los árboles talados, o la pérdida de materia orgánica del suelo por degradación del suelo), y una salida del balance cuando hay una acumulación de nitrógeno en la biomasa o en la materia orgánica del suelo. La volatilización de amoníaco se estimó con el modelo MANNER (Chambers et al., 1999) y las emisiones directas de N₂O empleando factores de emisión específicos del clima

mediterráneo (Cayuela et al., 2021). Las emisiones de N₂O de la quema de residuos e incendios se estimaron siguiendo la metodología tier 1 del IPCC (2006, 2019). La estimación del amoníaco volatilizado y del nitrato lixiviado permiten el cálculo de las emisiones indirectas de N₂O (IPCC, 2006, 2019).

Balances de carbono en la materia orgánica del suelo. La modelización de la dinámica del carbono orgánico del suelo se llevó a cabo con el modelo HSOC (Aguilera et al., 2018) que se aplicó en una serie temporal a nivel provincial desde 1860 (Aguilera et al., 2021a). El HSOC es un modelo dinámico basado en el modelo RothC (Coleman et al., 1997) que tiene en cuenta el tipo de aporte (residuos de cultivo, raíces, estiércol...) y las condiciones climáticas mensuales (temperatura, humedad del suelo, cobertura del suelo). Para transformar los cambios en los stocks de carbono en flujos de CO₂ equivalentes (GWP-100), en cada escenario se simula el stock de carbono que se alcanzará al cabo de 100 años, y se toma la tasa promedio anual de emisión o secuestro de carbono en ese periodo.

Balances de carbono en la biomasa forestal. El análisis trabajos previos de Infante-Amate et al., (2023; 2024), se han reconstruido los cambios en los stocks de carbono en la biomasa en España desde una perspectiva histórica, principalmente en base al Inventario Forestal Nacional, así como la producción de madera y leña. Sobre esta base, que estima la cantidad de stock de carbono disponible, se ha proyectado el stock de carbono en los distintos horizontes temporales y escenarios climáticos. Para proyectar el secuestro de carbono, se toma como base la serie histórica de la tasa de acumulación de carbono por hectárea (periodo 1990 - 2021), y se proyecta una disminución progresiva hasta llegar a cero en la segunda mitad del siglo, acorde con las proyecciones del modelo GOTILWA+ (Nadal-Sala et al., 2013). GOTILWA+ es un modelo basado en procesos ecofisiológicos que permite simular los efectos del cambio climático sobre los bosques y evaluar diferentes alternativas de gestión forestal. Este modelo se utiliza para proyectar cómo el incremento de la aridez asociado al cambio climático podría transformar a los bosques españoles de sumideros netos de carbono a emisores netos. Para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, se asumió una reducción más acelerada en la acumulación de biomasa, debido al cambio climático y al incremento de incendios asociado (Adame et al., 2020). La reducción adicional asumida en estos escenarios fue del 30% y el 40%, respectivamente. Una vez proyectada la tasa de acumulación de carbono de la masa forestal, se transforma en emisiones o secuestro de carbono, a partir de la pérdida o acumulación neta, respectivamente, de stock de carbono que tiene lugar en cada provincia, uso del suelo, horizonte temporal y escenario climático.

A4.4. Balance hídrico

El balance hídrico depende de la demanda de cultivo y de la disponibilidad de agua. Por un lado, la demanda del cultivo se calcula a partir de su evapotranspiración de referencia, que depende del coeficiente de cultivo, que va cambiando a lo largo de su ciclo, y de la evapotranspiración potencial. Por otro lado, la disponibilidad de agua en cada mes depende de la precipitación, el aporte del riego y el contenido de agua en el suelo al principio del mes (que se obtiene a partir del balance hídrico del mes anterior). Los datos climáticos mensuales, incluyendo precipitación y evapotranspiración potencial, se han obtenido de la base de datos global CRU (Harris et al., 2020). A partir de los datos de precipitación se han calculado los datos de precipitación efectiva (a partir de CRIWAR 2.0, (Bos et al., 1996)). Asimismo, las entradas de agua al suelo en forma de precipitación y de riego, junto con la demanda del cultivo y el agua disponible del mes anterior, permiten calcular el balance hídrico mensual. A partir de este balance se calcula la evapotranspiración real de cultivo (AET), el agua percolada por debajo de la zona de raíces, y el agua disponible en el suelo para el mes siguiente. Para el cálculo de la profundidad de las raíces del cultivo en cada mes se han usado datos de FAO56 (Allen et al., 1998) ajustados a las provincias españolas (Vila-Traver et al., 2021). La evapotranspiración de referencia se ve afectada por el manejo del cultivo. Por tanto en este trabajo se ha ajustado teniendo en cuenta el efecto de la producción de biomasa (PPN) (Vila-Traver et al., 2021) y, en el caso de los cultivos de invernadero, el efecto de su cultivo en invernadero (García Morillo, 2015, Gallardo et al., 2013). Para el cálculo de la capacidad de retención de agua del suelo se han usado datos de propiedades del suelo de la Harmonized World Soil Database (FAO & IIASA, 2023). Por otro lado, dado que el balance mensual puede dar lugar a una infraestimación del agua percolada debido a la agregación de la evapotranspiración potencial, los balances mensuales se han corregido con datos de balances diarios (Serra et al., com. pers.) de cultivos seleccionados realizados con el modelo GlobWat (Hoogeveen et al., 2015).

A4.5. Huella hídrica

Al contrario de otras huellas ambientales, que se analizan a nivel de dieta, incorporando datos de comercio exterior, en el caso de la huella hídrica el análisis se realiza solo a nivel de cultivos, ya que no se ha estudiado la huella de los productos comercializados. Se calcula la huella hídrica total como el sumatorio de la huella hídrica azul, verde y gris expresada en volumen total de agua consumida (km^3) o volumen de agua consumida por tonelada de producto (m^3 / t), siguiendo la metodología propuesta por Hoekstra et al. (2011). Se obtiene a partir de los datos de balance hídrico y de nitrógeno de los cultivos. Para la estimación del balance hídrico se consideran solamente los meses

del ciclo para cada cultivo y el modo de riego (por goteo, aspersión, gravedad o secano).

- **La huella de agua azul** se calcula a partir del agua de riego consumida (m^3/ha). El agua de riego consumida, a su vez, se calcula a partir de la proporción de la evapotranspiración real de cultivo (AET) que es agua de riego.
- **La huella de agua verde** (agua proveniente de la precipitación) se lleva a cabo el mismo procedimiento, calculando el volumen de agua verde consumida (UAC verde, m^3/ha). Ésta, a su vez, se obtiene a partir de la proporción de la evapotranspiración real de cultivo (AET) que pertenece a agua de lluvia efectiva.
- **La huella de agua gris** se define como la cantidad de agua necesaria para diluir los contaminantes de forma que la calidad hídrica del medio se mantenga por encima de los criterios establecidos. Se obtiene al dividir la carga de contaminante, es decir, la cantidad de sustancia química depositada en el suelo entre la diferencia entre la norma de calidad ambiental permitida (masa/volumen, C_{\max}) y la concentración natural de esta en la masa de agua receptora (masa/volumen, C_{nat}). Se ha asumido que C_{nat} es nula ($C_{\text{nat}} = 0$).

Se ha tenido en cuenta solamente el contaminante más crítico, por lo que se ha calculado la huella gris a partir de la cantidad de nitrógeno lixiviado como nitratos (NO_3^-) en el suelo (calculada a partir del balance de nitrógeno en suelos, siguiendo la metodología descrita en Aguilera et al. (2021a)). El nitrato lixiviado va al agua subterránea, por lo que se ha usado la concentración máxima de nitrato permitida en aguas subterráneas (Real Decreto 47/2022), valor de 37.5 mg NO_3^-/L . La cantidad de agua necesaria para diluir el nitrato lixiviado a esta concentración se ha expresado en m^3/ha . y posteriormente, se ha dividido entre la producción de cultivo para obtener la huella gris en m^3/t .

A4.6. Insumos

- **La distribución de los insumos por cultivos** y manejos se ha basado en datos oficiales y en datos obtenidos de entrevistas a agricultores ecológicos y convencionales (véase Aguilera et al., 2021a, 2021b, Aguilera y Rivera-Ferre, 2022).
- La **alimentación de la ganadería** se ha obtenido de los Documentos Zootécnicos (véase Rodríguez et al., 2023).

- **El esfuerzo pesquero** en este caso se cuantifica mediante la potencia, expresada en KW, o bien mediante el número de barcos, cuyos datos proceden una vez más de la estadística pesquera del Ministerio de Agricultura (MAPA, 2024b). Ambos indicadores se han relacionado con las capturas según arte de pesca y caladero, obteniendo valores por producto, por lo que siguen la misma tendencia que estas.

A4.7. Empleo

La mano de obra se cuantifica como empleo a tiempo completo equivalente, es decir, el total de horas trabajadas entre la media anual de horas trabajadas en empleos a tiempo completo en el país. Esto es equivalente a un mínimo de 1800 horas de trabajo (EUROSTAT, 2025). Los datos se han expresado en horas por hectárea (en el caso de la producción agrícola) y horas por cabeza (en el caso de la ganadería), y se han clasificado según el tipo de manejo (ecológico o convencional).

Para estimar la mano de obra en los distintos escenarios se sigue la metodología desarrollada por Rivera-Ferre et al. (2023). En resumen, la modelización se basa en la recopilación de estudios de la literatura publicada entre 2000 y 2023 sobre el uso de mano de obra en las producciones agrícolas (18 artículos, 205 observaciones en España), ganadera (39 artículos, 71 observaciones, incluyendo datos nacionales e internacionales en condiciones similares), industrial y de productos importados.

En el caso de la pesca se han utilizado los datos originales históricos procedentes de las series de la estadística pesquera del Ministerio de Agricultura para el periodo 2017-2020 (MAPA, 2024b), y se han atribuido proporcionalmente a cada producto según el arte de pesca utilizado, obteniendo datos de mano de obra asociada a cada tonelada de producto.

En el caso de los agroecosistemas, la mano de obra total se repartió primero entre las categorías de la "Farm Accountancy Data Network" (FADN), disponible desde la International Labour Organization (ILO, recogidos en FAOSTAT, FAO, 2023), y posteriormente se distribuyó por tipo de cultivo en base a los datos de la revisión. Finalmente, los valores se escalaron por el tipo de manejo (ecológico o convencional) en cada categoría de cultivo, según el escenario.

En el caso de productos importados, los datos se obtuvieron de una revisión de 698 documentos en el caso de cultivos y 127 documentos en el caso de ganadería, combinado con los datos de FADN para los países europeos. Estos valores se escalaron para alcanzar el valor agregado de referencia, facilitado por la ILO, aunque en este caso sin diferenciar manejos productivos. Teniendo en consideración la producción por país de FAOSTAT, se estimaron coeficientes de intensidad de mano de obra por producto y país, que muestran la "huella laboral" por tonelada importada.

A4.8. Huella territorial

La huella territorial se calculó a partir de la superficie ocupada por cada cultivo y uso del suelo, y de los productos obtenidos de esas superficies, trazando las hectáreas a lo largo de la cadena siguiendo la metodología general de cálculo de huellas ambientales descrita en la sección "Aspectos generales de la modelización". En el caso de los productos importados, se siguió una metodología similar pero aplicada a todos los países del mundo, usando datos de rendimientos de FAOSTAT y estimando la ingesta animal según la metodología descrita en Bruckner et al. (2019), que se basa en la demanda de los animales, siguiendo los métodos de Krausmann et al. (2013) y Bouwman et al (2013).

A4.9. Energía no renovable

La energía no renovable se ha estimado a partir del uso de cada tipo de insumo y de coeficientes de energía no renovable incorporada en cada insumo. Estos coeficientes se han obtenido de Aguilera et al. (2015c) y de Ecoinvent y otras bases de datos mediante el software SimaPro. Posteriormente, estas huellas de energía se han trazado a lo largo de la cadena siguiendo la metodología general de cálculo de huellas ambientales descrita en la sección "Aspectos generales de la modelización".

A4.10. Huella de carbono

Para el cálculo de la huella de carbono se han considerado todas las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto directas como indirectas y sumideros. Así, se contabilizan las emisiones realizadas en las granjas y campos de cultivos, pero también aquellas que tienen lugar durante la fabricación de insumos agrícolas y ganaderos, incluidos aquellos productos importados. Del mismo modo, se han incorporado las emisiones asociadas a los cambios en los stocks de carbono en la biomasa forestal y en los suelos. En el conjunto de las cadenas alimentarias también se han incluido las emisiones asociadas al procesamiento, distribución y consumo alimentario, así como las asociadas a la gestión de los residuos.

Los gases de efecto invernadero se han convertido a equivalentes de CO₂ (CO₂eq) a través de conversores de potencial de calentamiento global a 100 años (GWP-100) que consideran los bucles de retroalimentación del sistema climático, según el último informe disponible del IPCC (2021):

CH₄ biogénico: 27

N₂O: 273

CH₄-fósil: 29.8

HFC32: 2693

HFC134a: 4114

CFC11: 8321

PFC14: 5301

- **Las emisiones derivadas de la producción de insumos agrícolas** se han obtenido a partir de bases de datos de ACV como Ecoinvent mediante SimaPro, y en algunos casos como fertilizantes nitrogenados (Aguilera et al., 2021a) o electricidad (Aguilera et al., 2019a) se han refinado con valores específicos de España. Las emisiones asociadas a los combustibles y maquinaria se calcularon según se describe en Aguilera et al. (2019b)
- **El balance de emisiones del regadío** incluye la construcción y mantenimiento de la infraestructura, el uso de la energía, generación eléctrica y uso de combustibles, y las emisiones de CH₄ de los cuerpos de agua (Aguilera et al., 2019a).
- **Las emisiones asociadas al uso de combustible, a la quema de residuos y a los incendios forestales** se estimaron con coeficientes de emisión tomados del Inventario Nacional de Emisiones (MITECO, 2024b) y del IPCC (2006, 2019). En el caso del combustible fósil, estas emisiones incluyen CO₂, N₂O y CH₄. En el caso de la quema de residuos agrícolas, CH₄ y N₂O, y en el caso de los incendios forestales, CO₂ (por pérdida de biomasa acumulada), CH₄ y N₂O.
- **Las emisiones de N₂O del suelo** se estimaron siguiendo el enfoque Tier 2 de la metodología del IPCC (véase sección sobre balance de nitrógeno).

— **Las emisiones de la ganadería**, incluidas las emisiones del manejo del estiércol y las de CH₄ entérico, se han calculado siguiendo la metodología Tier 2 del IPCC, con coeficientes obtenidos del Inventario Nacional de Emisiones (MITECO, 2024b).

— **En la pesca** se han utilizado coeficientes asociados a artes de pesca y sectores pesqueros concretos basados en la bibliografía existente (Avadí et al., 2013; Iribarren et al., 2010; Iribarren et al., 2011; Schau et al., 2009; Muñoz et al., 2023; Chassot et al., 2021). Adicionalmente hemos complementado los coeficientes con los valores de referencia disponibles en Ecoinvent 3.7.1 cut-off, lo que implica que los residuos generados en el caso de la pesca son asignados a la producción (Ecoinvent, 2019). Estos valores han sido utilizados también en los impactos asociados a los procesamientos industriales (congelado, conserva y fabricación de procesados congelados, como los paletos de merluza), complementando dichos coeficientes con la base de datos Agrivalyse 3.2 en cada caso. Además, se han obtenido coeficientes de emisiones respectivos al embalaje procedente de esta misma base para todos los productos procesados industrialmente. Para el caso de productos frescos se asume que se comercializan envasados aquellos que son comercializados en hipermercados y supermercados, mientras que en el resto de canales de comercialización se asume que los productos en fresco no llevan envase. Para el caso de productos importados se han cribado aquellos productos de los que se conoce que su forma de producción procede de la acuicultura, aplicando a éstos el mismo coeficiente de emisiones en la producción que en otros países de referencia, procedentes de Avadi et al. (2019).

— **En acuicultura** se han usado coeficientes de emisiones de la literatura científica (Iribarren et al., 2011; Abdou et al., 2017; MacLeod et al., 2019; d'Orbcastel et al., 2009; Gonzalez-Garcia et al., 2018). En el caso de ser acuicultura con uso de piensos, se han respetado los componentes del análisis de ciclo de vida de dichas referencias, y se ha sustituido el valor asociado a los piensos por el valor estimado para las producciones de fabricación nacional de este informe, en base a la oferta aparente de materias primas.

— **Para el transporte**, se han identificado los modos mayoritarios de transporte desde los países desde los que se importan productos hacia España, recogiendo información del 80% del volumen importado desde la base de datos de comercio exterior del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (COMEX). Estos indican el transporte mayoritario (marítimo, carretera o aéreo). Se han reconstruido coeficientes ponderados, considerando la intermodalidad del transporte internacional

según el país de origen y medios de transporte utilizados. Se ha supuesto que la llegada a España de productos pesqueros se realiza por Galicia por ser la comunidad autónoma con mayor presencia de tejido industrial y productivo asociado a actividades marinas. En el caso de importaciones aéreas, se ha establecido Madrid-Barajas como el principal aeropuerto de destino, precisamente por tener una nave logística operativa preparada para mercancías alimentarias con dirección a Mercamadrid. Para el caso de importación por carretera se ha fijado como destino Mercamadrid por ser el mayor centro logístico de España en lo que a pescado y marisco se refiere. Como origen se han fijado los puertos y aeropuertos mayoritarios de los países de origen. Para algunos países sin conexión rodada con España pero que figuran como importadores por carretera en la base de datos de COMEX se han asignado como puertos de entrada Rotterdam (Países Bajos), como el mayor puerto comercial de Europa, Nápoles (Italia) para el caso de la entrada por el mediterráneo y Tánger Med (Marruecos) para países africanos y de Oriente Medio. Estas asunciones están basadas en conocimiento experto y trabajos realizados con anterioridad (Ospina-Álvarez et al., 2024; Martins-Aragao et al., 2021, 2022). Se han realizado distinciones en base a si es transporte refrigerado, aplicando refrigeración a importación en fresco y congelado, y transporte a temperatura ambiente para el producto procesado, a excepción del procesado de merluza (palitos empanados y derivados). Los coeficientes asociados al transporte han sido obtenidos a partir de los utilizados en Saralegui-Díez et al., (2023). Estos coeficientes han sido multiplicados por las distancias recorridas y por las toneladas importadas. En el primero de los casos, se ha usado para el transporte marítimo SeaDistances (<https://sea-distances.org/>) y para el aéreo AirMiles Calculator (<https://www.airmilescalculator.com/distance/mad-to-ath/>). En el caso de por carretera se ha desarrollado un script de cálculo en bloque de distancias con origen y destino vinculado a Google Maps.

Para la industria agroalimentaria y la preparación y empaquetamiento de los alimentos se ha utilizado la base de datos de referencia Agrybalyse (Asselin-Balençon et al., 2020), seleccionando los impactos asociados a la industria y al empaquetamiento y aplicándoselo según las asunciones del modelo. Para la estimación de la cantidad de productos envasados en el modelo BAU se ha recogido la penetración de los distintos canales de comercialización del consumo en los hogares del MAPA (2023) y se ha aplicado a la oferta alimentaria en los dos hitos temporales. Para el caso del BIO 40 se ha asumido que solo se empaquetan los productos procesados.

— **Para los productos agropecuarios importados**, tanto para alimentación animal como humana y otros usos, se emplearon factores de emisión obtenidos a partir de Ecoinvent y otras bases de datos mediante el software SimaPro.

A4.11. Biodiversidad

La agroecología fomenta prácticas que promueven áreas de biodiversidad, así como una gestión adaptada al sitio y la diversificación de cultivos. Estas prácticas no solo generan un ecosistema más equilibrado, donde la flora y fauna colaboran en el control de plagas y en la polinización, sino que también contribuyen a la conectividad de hábitats, permitiendo el movimiento y el intercambio genético de especies. Estudios indican que la agricultura ecológica puede incrementar la riqueza de especies en un 30% y la abundancia de organismos en un 50% en comparación con la agricultura convencional (Pfiffner y Stöckli, 2023), destacando las diferencias en la riqueza de especies según el tipo de cultivo y la intensidad del manejo. Para estimar los cambios en la biodiversidad modelamos esta evolución en términos de riqueza de especies (número de especies) en respuesta a la adopción o no de la producción ecológica. Además, para incluir los efectos del cambio climático, hemos incorporado en la base de datos la proporción de especies amenazadas según la Lista Roja de la UICN en España (especies en peligro crítico y otras categorías). Así, los escenarios globales considerados, han sido proyectados considerando el aumento en el número de especies amenazadas debido a cambios en la temperatura, precipitación y desastres naturales (Habibullah et al., 2021). Finalmente, hemos añadido un indicador (**BII - Biodiversity Inactness Index**) que calcula la proporción de biodiversidad general que queda por zonas geográficas, aplicando los escenarios globales y cambio de usos del suelo de los modelos. Ese % de biodiversidad que "sobrevive" se ha aplicado para escalar los datos al final del módulo de biodiversidad y tener estimaciones mucho más precisas.

El BII se ha modelizado a partir de la base de datos **PREDICTS** (Projecting Responses of Ecological Diversity In Changing Terrestrial Systems), una de las más completas y amplias en el ámbito de la biodiversidad global, con un tamaño muestral que incluye un total de **4.9 millones de observaciones de datos** provenientes de más de **48,000 sitios** distribuidos en más de **100 países**. Además, abarca una **cobertura taxonómica representativa** con datos de **58,000 especies** de plantas, animales y hongos. Estos sitios incluyen una diversidad de ecosistemas, desde bosques tropicales hasta áreas agrícolas y urbanas, lo que permite obtener una representación detallada de cómo las especies responden a distintas presiones ambientales, como el cambio climático, la deforestación y la expansión humana. Los datos de PREDICTS incluyen información sobre la diversidad de especies, la composición de los ecosistemas y las características del hábitat, lo que permite modelizar la pérdida de biodiversidad de manera precisa. Gracias a su amplio tamaño muestral y

a la variedad de contextos en los que se ha recopilado la información, PREDICTS proporciona una base sólida para el análisis de la biodiversidad a escala global y es un recurso invaluable para evaluar el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas.

La magnitud de los efectos sobre la biodiversidad se calcula utilizando la biodiversidad amenazada inicial (Datos IUCN, especies catalogadas en España como Endangered y Critic) como base, ajustada proporcionalmente según la biodiversidad total de cada provincia. A esta base se le aplican sensibilidades específicas de cada grupo a temperatura, precipitación y desastres naturales (coeficientes Habibullah 2021, Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence), combinadas con las proyecciones climáticas del IPCC (diferencias de temperatura y precipitación) y los cambios en la frecuencia de desastres definidos por cada escenario climático. Estos efectos se integran para estimar la biodiversidad amenazada en 2030 y 2050, y los valores finales reflejan el impacto combinado de las condiciones climáticas proyectadas y la biodiversidad inicial del grupo.

Para proyectar los cambios en la biodiversidad amenazada marina bajo distintos escenarios climáticos se definen incrementos en la temperatura y cambios en la acidificación para los años 2030 y 2050, basados en proyecciones del IPCC. Estos cambios se aplican a los datos de biodiversidad mediante un proceso que ajusta la biodiversidad amenazada inicial en función de los coeficientes previamente mencionados (Habibullah et al., 2021). El impacto de las reservas marinas se evalúa mediante la implementación de un modelo que considera un aumento de la biomasa en especies comerciales, proyectando un incremento del 37% en la biodiversidad para un 10% de las especies en 2030 y un 30% en 2050 y ajustando este parámetro con la adición de el efecto Spillover y la eficiencia de las pesquerías. Este enfoque permite no solo estimar la abundancia de la biodiversidad, sino también evaluar el estado de los stocks de especies en función de la conservación y manejo de áreas marinas protegidas.

Para modelar la riqueza total de especies marinas se utilizó el modelo [AquaMaps](#), que combina datos de ocurrencia georreferenciados de 33,518 especies marinas con información ecológica para derivar los umbrales de preferencias y tolerancias ambientales. Este modelo estima las probabilidades de ocurrencia para cada especie en celdas de 0.5° de resolución, permitiendo crear mapas de idoneidad del hábitat bajo condiciones ambientales actuales y proyectadas hasta el año 2100, según distintos escenarios de cambio climático (RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5). Al analizar la distribución de las especies, el modelo considera siete parámetros ambientales clave, como la temperatura del agua, salinidad y productividad primaria, y calcula la riqueza de especies como el número de especies con una probabilidad de ocurrencia superior a 0.5 en cada celda, permitiendo evaluar los cambios en la biodiversidad marina bajo diferentes condiciones climáticas.

Para estimar los efectos de cambios en biomasa y otros factores sobre las capturas pesqueras en el caladero nacional para los hitos temporales 2030 y 2050, se calculan las capturas por hectárea

dividiendo las capturas iniciales de cada año (2030 y 2050) entre la superficie total del caladero. A continuación, se introduce un incremento del 37% en biomasa para un subconjunto de especies: un 10% para 2030 y un 30% para 2050 (que corresponden al 10% de zonas no-take para 2030 y un 30% para 2050) . Las especies afectadas se seleccionan aleatoriamente, y se ajustan las capturas aplicando este incremento solo a estas especies, mientras que el resto permanece igual. Esto permite capturar el efecto diferencial de los incrementos de biomasa en las capturas pesqueras totales, sin diferenciación de especies. Posteriormente, se introducen factores derivados de pendientes (Proyecto BioMex) que simulan cambios en biomasa, spillover y captura por unidad de esfuerzo (nCPUE) desde los límites de la reserva integral (IR) para fuera. Estos factores se combinan para aplicarse a las capturas ajustadas de 2030 y 2050, generando nuevas proyecciones modelizadas.

A4.12. Pérdidas y desperdicios en la cadena

A lo largo de todo el modelo se han estimado las pérdidas y desperdicios según indica Gustavsson et al. (2011) en cada eslabón de la cadena. Este estudio resulta como el informe de referencia en el estudio de las Food Losses and Waste (FLW) a pesar de otros intentos por aterrizar los coeficientes de pérdidas en algunas regiones (Luo et al. 2021). La literatura científica indica que existen grandes lagunas de datos en este sentido (Xue et al., 2017), por lo que se ha optado por utilizar dicho informe de referencia y utilizado habitualmente por la FAO. Además, en lo que se refiere al modelado de los impactos, se asume que las pérdidas y desperdicios alimentarios son gestionados según se indica en la estadística oficial (INE, 2022)

A4.13. Dietas

En este modelo, las dietas vienen definidas por la reconstrucción de las cadenas alimentarias, es decir, el consumo aparente, tal y como asume la metodología de FAOSTAT en sus estimaciones de las Food Balance Sheets (FAO, 2024). El consumo aparente es el resultado de conjugar capacidad productiva derivada de la Producción Primaria Neta en los escenarios climáticos bajo el mismo tipo de modelo productivo que el actual, la misma distribución de la importación y la exportación en relación al consumo aparente (definido a partir de los flujos de FAOSTAT (FAO, 2024)), y la aplicación de las pérdidas y desperdicios según indica Gustavsson et al. (2011) en cada eslabón de la cadena. A partir de este consumo aparente y asumiendo el cambio poblacional modelado por el INE (2024), se estima la ingesta de la población y el conjunto de impactos asociados.

Para ello, se agregan las diferentes categorías en grupos nutricionalmente asimilables. A partir de esta agrupación se estiman las racio-

nes disponibles per cápita, con el fin de determinar el nivel de cobertura de las necesidades nutricionales, siguiendo las pautas para dietas saludables y sostenibles emitidas por EAT-LANCET. Los valores se expresan en forma de ratio Rcr, obtenido dividiendo las raciones per cápita disponibles entre las raciones recomendadas por estas dos entidades.

Adicionalmente, se realiza un análisis nutricional basándose en el contenido de las dietas en macronutrientes para evaluar si la disponibilidad per cápita de manera comparativa.

Una vez establecidas las asunciones generales, se han adaptado las cadenas alimentarias para cumplir con las recomendaciones dietéticas indicadas por EAT-Lancet (Willet et al., 2019). Estas recomendaciones se han proyectado a los hitos 2030 y 2050 considerando la evolución de la población realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2024) proyectadas para el periodo 2024-2074, con el fin de tener una base comparativa con respecto a los resultados de dieta obtenidos.

Se ha establecido la dieta Lancet como aquella de referencia para establecer el volumen de consumo en el modelo BIO+ por considerar los límites planetarios de cara a sus recomendaciones de consumo. No obstante, según el propio documento indica, estas recomendaciones son planetarias y es necesario adaptar a las dinámicas culturales propias de las dietas en el territorio. En este sentido se ha decidido establecer como consumo recomendado en 2030 y 2050 como parte del escenario BIO+ el valor recomendado por EAT-Lancet incrementando en un 30% el volumen en 2030 y en 2050.

La dieta EAT-Lancet (Willet et al., 2019) establece las siguientes pautas (entre paréntesis, el rango máximo y mínimo):

- Arroz, trigo, maíz y otros cereales 232 g/día (ganancias totales 0–60% de energía)
- Patatas y mandioca 50 (0–100) g/día
- Verduras 300 (200–600) g/día
 - > Verduras de color verde oscuro 100 g/día
 - > Verduras de color rojo y naranja 100 g/día
 - > Otras verduras 100 g/día
- Frutas 200 (100–300) g/día
- Leche entera o equivalentes derivados (p. ej., queso) 250 (0–500) g/día
- Carne de res y cordero 7 (0–14) g/día
- Cerdo 7 (0–14) g/día
- Pollo y otras aves de corral 29 (0–58) g/día
- Huevos 13 (0–25) g/día
- Pescado 28 (0–100) g/día
- Judías, lentejas y guisantes secos 50 (0–100) g/día
- Alimentos de soja 25 (0–50) g/día
- Cacahuetes 25 (0–75) g/día
- Frutos secos 25 g/día
- Aceite de palma 6,8 (0–6,8) g/día

Aceites insaturados	40 (20–80) g/día
Grasas lácteas (incluidas en la leche)	0 g/día
Manteca de cerdo o sebo	5 (0–5) g/día
Edulcorantes y dulcificantes	31 (0–31) g/día

Se ha optado por asumir estas recomendaciones dietéticas de la dieta EAT-Lancet. No obstante, tal y como indica Willet et al. (2019), es necesario adaptar culturalmente las dietas a los territorios.

A4.14. Revisión de productos contaminantes y tóxicos en la alimentación

La Unión Europea ha estado financiando en los últimos años proyectos Horizon Europe con vistas a cuantificar y asesorar en materia de exposición humana a riesgos químicos, principalmente a través de dos grandes proyectos: HBM4EU¹² y su proyecto de continuidad PARC¹³. Ambos proyectos buscan articular el conocimiento científico de los Estados Miembro para la elaboración de estrategias nacionales que reduzcan el riesgo de exposición a peligros químicos sobre la salud y el medio ambiente.

A partir de la bibliografía generada y centralizada a partir de dichos proyectos, en particular aquella relacionada con la presencia de contaminantes en fluidos humanos a través de la biomonitorización, se ha realizado una revisión de pesticidas en orina, principalmente del primer proyecto (el segundo no tiene datos aún).

A5. Límites del sistema

El análisis realizado en el estudio comprende dos tipos de límites del sistema. De un lado, se establecen a puerta de finca (farmgate) para los impactos que se refieren al modelo productivo, considerando dentro de estos mismos, por tanto, todos aquellos insumos necesarios para la producción. Así, el apartado 4.1-4.5 considera el transporte, la fabricación de insumos y el uso de combustibles y maquinarias.

Por otro lado, para el apartado 4.6 se consideran aquellos impactos asociados a la cadena de suministro, hasta la puerta de la "fábrica" (manufacturing gate), por lo tanto incorpora los impactos vinculados al transporte, el procesamiento y la producción aguas arriba de la cadena de suministro. Quedan fuera aquellos impactos de la gestión de residuos de los hogares, la distribución de última milla, el impacto de la comercialización/distribución.

¹² [Aquí](#)

¹³ [Aquí](#)

A6. Referencias

- Aguilera, E., Guzmán-Casado, G., & Alonso, A. (2015b). Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. II. Fruit tree orchards. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 725-737. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0265-y>
- Abdou, K., Aubin, J., Romdhane, M. S., Le Loc'h, F., & Lasram, F. B. R. (2017). Environmental assessment of seabass (*Dicentrarchus labrax*) and seabream (*Sparus aurata*) farming from a life cycle perspective: A case study of a Tunisian aquaculture farm. *Aquaculture*, 471, 204-212.
- Adame, P., Cañellas, I., Moreno-Fernández, D., Packalen, T., Hernández, L., Alberdi, I., (2020). Analyzing the Joint Effect of Forest Management and Wildfires on Living Biomass and Carbon Stocks in Spanish Forests. *Fores*ts 11. <https://doi.org/10.3390/f11111219>
- AEMET (2023). Evaluación de métodos de regionalización estadística para la generación de proyecciones climáticas en el marco del PNACC-2 2021-2030. Nota técnica 41 de AEMET. <https://archivo-proyecciones-climaticas.aemet.es/>. (Último acceso: 11 de agosto de 2024)
- AESAN (2022) Recomendaciones dietéticas saludables y sostenibles complementadas con recomendaciones de actividad física para la población española. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. <https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/nutricion/RECOMENDACIONES DIETETICAS.pdf>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., (1998). Crop evapotranspiration: guide-lines for computing crop water requirements. FAO No. 56. FAO, Rome.
- Aguilera, E., Guzmán-Casado, G. I., & Alonso, A. (2015a). Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. I. Herbaceous crops. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 713-724. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0267-9>
- Aguilera, E., Guzmán, G.I., Infante-Amate, J., Soto, D., García-Ruiz, R., Herrera, A., Villa, I., Torremocha, E., Carranza, G., González de Molina, M., (2015c). Embodied energy in agricultural inputs. Incorporating a historical perspective. Sociedad Española de Historia Agraria. DT-SEHA 1507.
- Aguilera, E., Guzmán, G.I., Alvaro-Fuentes, J., Infante-Amate, J., García-Ruiz, R., Carranza-Gallego, G., Soto, D., González De Molina, M., (2018). A historical perspective on soil organic carbon in Mediterranean cropland (Spain, 1900-2008). *Sci. Total Environ.* 621, 634-648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.243>
- Aguilera, E., Vila-Traver, J., Deemer, B.R., Infante-Amate, J., Guzmán, G.I., González de Molina, M., (2019a). Methane Emissions from Artificial Waterbodies Dominate the Carbon Footprint of Irrigation: A Study of Transitions in the Food-Energy-Water-Climate Nexus (Spain, 1900–2014). *Environ. Sci. Technol.* 53, 5091–5101. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00177>
- Aguilera, E., Guzmán, G.I., González de Molina, M., Soto, D., Infante-Amate, J., (2019b). From animals to machines. The impact of mechanization on the carbon footprint of traction in Spanish agriculture: 1900–2014. *J. Clean Prod.* 221, 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.247>
- Aguilera, E., Sanz-Cobena, A., Infante-Amate, J., García-Ruiz, R., Vila-Traver, J., Guzmán-Casado, G. I., Molina, M. G. de, Rodríguez, A., Piñero, P., & Lassaletta, L. (2021a). Long-term trajectories of the C footprint of N fertilization in Mediterranean agriculture (Spain, 1860–2018). *Environmental Research Letters*, 16(8), 085010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac17b7>
- Aguilera, E., Reyes-Palomo, C., Díaz-Gaona, C., Sanz-Cobena, A., Smith, P., García-Laureano, R., Rodríguez-Estévez, V., (2021b). Greenhouse gas emissions from Mediterranean agriculture: Evidence of unbalanced research efforts and knowledge gaps. *Global Environ. Change* 69, 102319. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102319>
- Aguilera, E., Rivera-Ferre, M.G., (2022). La urgencia de una transición agroecológica en España. Amigos de la Tierra. <https://www.tierra.org/la-urgencia-de-una-transicion-agroecologica-en-espana/>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Asselin-Balençon, A., Broekema, R., Teulon, H., Gastaldi, G., Houssier, J., Moutia, A., Rousseau, V., Wermeille, A., & Colomb, V. (2020). AGRIBALYSE v3.0: the French agricultural and food LCI database. Methodology for the food products. ADEME.
- Avadí A., Vázquez-Rowe I., (2019). Life Cycle Inventories of Wild Capture and Aquaculture. ecoinvent Association, Zürich, Switzerland
- Avadí, A., & Fréon, P. (2013). Life cycle assessment of fisheries: A review for fisheries scientists and managers. *Fisheries Research*, 143, 21-38.
- Billen, G., Aguilera, E., Einarsson, R., Garnier, J., Gingrich, S., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Le Noë, J., & Sanz-Cobena, A. (2024). Beyond the farm to fork strategy: Methodology for designing a European agro-ecological future. *Science of the Total Environment*, 908. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168160>
- Blanchard, J.L. & Novaglio, C., eds. (2024). Climate change risks to marine ecosystems and fisheries: Projections to 2100 from the Fisheries and Marine Ecosystem Model Intercomparison Project. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 707. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cd1379en>.
- Bos, M. G., Vos, J., & Feddes, R. A. (1996). CRIWAR 2.0 A simulation model on crop irrigation water requirements. (ILRI Publication; No. 46). ILRI. <https://edepot.wur.nl/76509>
- Bouwman, L., Goldewijk, K.K., Van Der Hoek, K.W., Beusen, A.H.W., Van Vuuren, D.P., Willems, J., Rufino, M.C., Stehfest, E., (2013). Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900–2050 period. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 110, 20882–20887. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012878108>
- Bruckner, M., Wood, R., Moran, D., Kuschnig, N., Wieland, H., Maus, V., Borner, J., (2019). FABIO-The Construction of the Food and Agriculture Biomass Input-Output Model. *Environ. Sci. Technol.* 53, 11302–11312. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03554>
- Burgess, M.G., Becker, S.L., Langendorf, R.E., Fredston, A., Brooks, C.M., (2023). Climate change scenarios in fisheries and aquatic conservation research. *ICES J. Mar. Sci.* 80, 1163–1178. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad045>

- Cayuela, M.L., Aguilera, E., Sanz-Cobena, A., Adams, D.C., Abalos, D., Barton, L., Ryals, R., Silver, W.L., Alfaro, M.A., Pappa, V.A., Smith, P., Garnier, Billen, Bouwman, L., Bondeau, A., Lassaletta, L., (2017). Direct nitrous oxide emissions in Mediterranean climate cropping systems: emission factors based on a meta-analysis of available measurement data. *Agric., Ecosyst. Environ.* 238, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.006>
- Carranza-Gallego, G., Guzmán-Casado, G. I., García-Ruiz, R., González de Molina, M., & Aguilera, E. (2018). Contribution of old wheat varieties to climate change mitigation under contrasting managements and rainfed Mediterranean conditions. *Journal of Cleaner Production*, 195, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.188>
- Carranza-Gallego, G., Guzmán-Casado, G. I., Garcia-Ruiz, R., de Molina, M. G., & Aguilera, E. (2019). Addressing the role of landraces in the sustainability of mediterranean agroecosystems. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su11216029>
- Carranza-Gallego, G., Guzmán-Casado, G. I., Soto, D., Aguilera, E., Villa, I., Infante-Amate, J., Herrera, A., & de Molina, M. G. (2018). Modern wheat varieties as a driver of the degradation of Spanish rainfed mediterranean agroecosystems throughout the 20th century. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3724). <https://doi.org/10.3390/su10103724>
- Carranza-Gallego, G., Guzmán-Casado, G. I., & González de Molina, M. (2021). Variedades Tradicionales de trigo en la cadena agroalimentaria andaluza. LHA-UPO.
- CE 2019/1022, Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de junio de 2019, por el que se establece un plan plurianual para la pesca demersal en el Mediterráneo occidental y por el que se modifica el Reglamento (UE) n.o 508/2014 (DO L 172, 26.6.2019, pp. 1-17).
- Chassot, E., Antoine, S., Guillotreau, P., Lucas, J., Assan, C., Marguerite, M., & Bodin, N. (2021). Fuel consumption and air emissions in one of the world's largest commercial fisheries. *Environmental Pollution*, 273, 116454.
- Conant, R. T.; Cerri, C. E. P.; Osborne, B. B.; Paustian, K. Grassland Management Impacts on Soil Carbon Stocks: A New Synthesis. *Ecol. Appl.* (2017), 27 (2), 662–668. <https://doi.org/10.1002/eaap.1473>.
- Chambers, B.J., Lord, E.I., Nicholson, F.A., Smith, K.A., (1999). Predicting nitrogen availability and losses following application of organic manures to arable land: MANNER. *Soil Use and Management* 15, 137–143.
- Coleman, K., Jenkinson, D.S., Crocker, G.J., Grace, P.R., Klír, J., Körschens, M., Poulton, P.R., Richter, D.D., (1997). Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma* 81, 29–44. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00079-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00079-7)
- Corominas, J., Cuevas, R. (2017). Análisis crítico de la modernización de regadíos. Pensando el futuro: ¿cómo será el nuevo paradigma? In Berbel, J. and Gutierrez-Martin, C. (Eds), *Efectos de la modernización de regadíos en España*, pp. 273-308. Cajamar Caja Rural.
- Cruz-Moriana, V., Mancilla-Leytón, J. M., Mena, Y., & Ruiz Morales, F. de A. (2024). Identification of the Multifunctionality of Andalusian Autochthonous Pastoral Livestock Breeds at the Farm Level. *Agriculture (MPDI)*, 14(558). <https://doi.org/10.3390/agriculture14040558>
- d'Orbcastel, E. R., Blancheton, J. P., & Aubin, J. (2009). Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacultural engineering*, 40(3), 113-119.
- Del Gross, S., Parton, W., Stohlgren, T., Zheng, D., Bachelet, D., Prince, S., Hibbard, K., Olson, R., (2008). Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation, and temperature. *Ecology* 89, 2117–2126. <https://doi.org/10.1890/07-0850.1>
- Ecoinvent. (2019). Ecoinvent v3.7.1 Database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- EUROSTAT (2022). Agricultural labour input statistics: absolute figures. Eurostat - Data Explorer.
- EUROSTAT (2025). Glossary: Annual Work Unit (AWU) [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Annual_work_unit_\(AWU\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Annual_work_unit_(AWU))
- FAO, & IIASA. (2023). Harmonized World Soil Database version 2.0
- FAO (2024). FAOSTAT—FAO database for food and agriculture. Rome: Food and Agriculture Organisation of United Nations (FAO). Available: <http://faostat3.fao.org/>
- Gallardo, M., Thompson, R. B., & Fernández, M. D. (2013). Water requirements and irrigation management in Mediterranean greenhouses: the case of the southeast coast of Spain. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops; Plant Production and Protection Paper*, 217, 109-136.
- García-Ruiz, R., Carranza-Gallego, G., Aguilera, E., González De Molina, M., & Guzmán-Casado, G. I. (2019). C and N mineralisation of straw of traditional and modern wheat varieties in soils of contrasting fertility. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 113(2), 167-179. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09973-4>
- García Morillo, J. (2015). Hacia el riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana.
- González de Molina, M., Soto-Fernández, D., Guzmán-Casado, G. I., Infante-Amate, J., Aguilera-Fernández, E., Vila-Traver, J., & García-Ruiz, R. (2020). *The Social Metabolism of Spanish Agriculture, 1900-2008*.
- González De Molina, M., Soto-Fernández, D., Guzmán-Casado, G. I., Infante-Amate, J., Aguilera-Fernández, E., Vila-Traver, J., & García-Ruiz, R. (2019). *Historia de la Agricultura Española desde una perspectiva biofísica 1900-2010*. MAPA.
- Gonzalez-Garcia, S., Villanueva-Rey, P., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2018). Estimating carbon footprint under an intensive aquaculture regime. *Sustainable Aquaculture*, 249-263.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Soneson, U., van Otterdijk, R., Meybeck, A., (2011). Global Food Losses and Food Waste, in: FAO (Ed.), Rome.
- Guzmán, G.I., Aguilera, E., Soto-Fernández, D., Cid, A., Infante-Amate, J., García-Ruiz, R., Herrera González de Molina, A., Villa Gil-Bermejo, I., González de Molina, M., (2014). Methodology and conversion factors to estimate the net primary productivity of historical and contemporary agroecosystems. Sociedad Española de Historia Agraria. DT-SEHA 1407, DT-SEHA.
- Guzmán-Casado, G. I., & González de Molina, M. (2015). Energy Efficiency in Agrarian Systems From an Agroecological Perspective. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(8), 924-952. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1053587>
- Guzmán-Casado, G. I., & González de Molina, M. (2017). *Energy in Agroecosystems. A tool for Assessing Sustainability*. CRC Press.

- Guzmán-Casado, G. I., González de Molina, M., Soto Fernández, D., Infante-Amate, J., & Aguilera, E. (2018). Spanish agriculture from 1900 to 2008: a long-term perspective on agroecosystem energy from an agroecological approach. *Regional Environmental Change*, 18(4), 995-1008. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1136-2>
- Haberl, H., Erb, K. H., & Krausmann, F. (2014). Human appropriation of net primary production: Patterns, trends, and planetary boundaries. *Annual Review of Environment and Resources*, 39, 363-391. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-121912-094620>
- Haberl, H., Erb, K. H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzar, C., Gingrich, S., Lucht, W., & Fischer-Kowalski, M. (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(31), 12942-12947. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704243104>
- Hamon, K.G., Kreiss, C.M., Pinnegar, J.K., Bartelings, H., Batsleer, J., Catalán, I.A., Damalas, D., Poos, J.-J., Rybicki, S., Sailley, S.F., Sgardeli, V., Peck, M.A., (2021). Future Socio-political Scenarios for Aquatic Resources in Europe: An Operationalized Framework for Marine Fisheries Projections. *Front. Mar. Sci.* 8, 578516. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.578516>.
- Habibullah, S., Din, B.H., Tan, SH. et al. Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environ Sci Pollut Res* 29, 1073-1086 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15702-8>
- Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 7(1), 109. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>
- Hoekstra, A. Y. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.
- Hoogeveen, J., Faurès, J.-M., Peiser, L., Burke, J., & van de Giesen, N. (2015). GlobWat—A global water balance model to assess water use in irrigated agriculture. *Hydrology and Earth System Sciences, Hydrol. Earth. Syst. Sci.*, 3829-3844. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3829-2015>
- Hyndman, R. J., Koehler, A. B., Snyder, R. D., & Grose, S. (2002). A state space framework for automatic forecasting using. *International Journal of Forecasting*, 18(3), 439-454.
- INE (2022) Estadística sobre recogida y tratamiento de residuos, Año 2022. Instituto Nacional de Estadística
- INE (2024). Proyecciones de Población. Años 2024-2074. Consultado el 10/10/2024. <https://www.ine.es/dyngs/INEbase/listaoperaciones.htm> Instituto Nacional de Estadística
- Infante-Amate, J., Iriarte-Goñi, I., & Aguilera, E. (2023). Historical changes in biomass carbon stocks in the Mediterranean (Spain, 1860–2010). *Anthropocene*, 44(September). <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2023.100416>
- Infante-Amate, J., & Aguilera, E. (2024). Beyond fossil fuels: Considering land-based emissions reshapes the carbon intensity of modern economic growth (Spain, 1860–2017). *Historical Methods*, 0(0), 1-16. <https://doi.org/10.1080/0161440.2024.2378799>
- IPCC, (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change, Japan.
- IPCC, (2019). 2019 Refinement of the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Switzerland.
- IPCC (2021). Sixth Assessment Report (AR6): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- IPCC, (2023). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)].IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Iribarren, D., Vázquez-Rowe, I., Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010). Estimation of the carbon footprint of the Galician fishing activity (NW Spain). *Science of the Total Environment*, 408(22), 5284-5294.
- Iribarren, D., Vázquez-Rowe, I., Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2011). Updating the carbon footprint of the Galician fishing activity (NW Spain). *Science of the Total Environment*, 409(8), 1609-1611.
- Jordon, M.W., Willis, K.J., Buerkner, P.-C., Petrokofsky, G., (2022). Rotational grazing and multispecies herbal leys increase productivity in temperate pastoral systems-A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems, and Environment* 337, 108075. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108075>
- Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Haberl, H., Bondeau, A., Gaube, V., Lauk, C., Plutzar, C., Searchinger, T.D., (2013). Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 110, 10324-10329. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211349110>
- Kreiss, C.M., Papathanasioupolou, E., Hamon, K.G., Pinnegar, J.K., Rybicki, S., Micallef, G., Tabeau, A., Cubillo, A.M., Peck, M.A., (2020). Future Socio-Political Scenarios for Aquatic Resources in Europe: An Operationalized Framework for Aquaculture Projections. *Front. Mar. Sci.* 7, 568159. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.568159>.
- Luo, N., Lennon Olsen, T., & Liu, Y. (2021). A Conceptual Framework to Analyze Food Loss and Waste within Food Supply Chains: An Operations Management Perspective. Sustainability (Switzerland), 13(927). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13020927>
- MacLeod, M., Hasan, M. R., Robb, D. H., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2019). *Quantifying and mitigating greenhouse gas emissions from global aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Mancera, K.F., Zarza, H., de Buen, L.L. et al. Integrating links between tree coverage and cattle welfare in silvopastoral systems evaluation. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 19 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0497-3>
- MAPA, (2023a). Anuarios de Estadística Agraria 1904-2021. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación www.mapa.gob.es
- MAPA, (2023b), Panel de Consumo Alimentario. Últimos datos, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. www.mapa.gob.es
- MAPA (2024a). Estadísticas de Producción Ecológica en España. Año 2023. www.mapa.gob.es
- MAPA (2024b) Estadísticas pesqueras, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. www.mapa.gob.es
- MAPA (2025a). Encuesta ganadera. Resultados de ganadería. Año 2024. www.mapa.gob.es

- (MAPA, 2025b). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivo (ESYRCE), Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado
- Martins-Aragão, G., Saralegui-Díez, P., Villasante, S., López-López, L. L., Moranta, J., Villasante-Larramendi, S., López-López, L. L., & Moranta-Mesquida, J. (2021). La huella de carbono de la cadena agroalimentaria de la merluza en España. Alimentta.
- Martins-Aragão, G., Saralegui-Díez, P., Villasante, S., López-López, L., Aguilera, E., & Moranta, J. (2022). The carbon footprint of the hake supply chain in Spain: Accounting for fisheries, international transportation and domestic distribution. *Journal of Cleaner Production*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131979>
- Marull, J., Otero, I., Stefanescu, C., Tello, E., Miralles, M., Coll, F., Pons, M., & Diana, G. L. (2015). Exploring the links between forest transition and landscape changes in the Mediterranean. Does forest recovery really lead to better landscape quality? *Agroforestry Systems*, 89(4), 705-719. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9808-8>
- Marull, J., Tello, E., Bagaria, G., Font, X., Cattaneo, C., & Pino, J. (2018). Exploring the links between social metabolism and biodiversity distribution across landscape gradients: A regional-scale contribution to the land-sharing versus land-sparing debate. *Science of the Total Environment*, 619-620, 1272-1285. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.196>
- McDonald, S., Lawrence, R., Kendall, L., Rader, R., (2019). Ecological, biophysical and production effects of incorporating rest into grazing regimes: A global meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13496>
- MITECO (2024a). Estadística General de Incendios Forestales. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/estadisticas-datos.html>
- MITECO (2024b). Informe inventario nacional de emisiones gases de efecto invernadero. Edición 2024 (1990-2022). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Moreiras, G.V.; Torres, J.M.Á.; Vives, C.C.; de la Calle, S.D.P.; Moreno, E.R. (2008) Valoración de La Dieta Española de Acuerdo al Panel de Consumo Alimentario. Ministerio Medio Ambiente Medio Rural Mar. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/valoracion/panel_tcm30-104397.pdf
- Muñoz, M., Reul, A., Guijarro, B., & Hidalgo, M. (2023). Carbon footprint, economic benefits and sustainable fishing: Lessons for the future from the Western Mediterranean. *Science of the Total Environment*, 865, 160783.
- Mueller, N. D., & Lassaletta, L. (2020). Nitrogen challenges in global livestock systems. *Nature Food*, 1(7), 400-401. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0117-7>
- Nadal-Sala, D., Sabaté, S., Gracia, C. (2013). GOTILWA+: un modelo de procesos que evalúa efectos del cambio climático en los bosques y explora alternativas de gestión para su mitigación. *Ecosistemas* 22(3):29-36. 10.7818/ECOS.2013.22-3.05
- Oikonomou, D.; Vrahaklis, M.; Yiakoulaki, M.; Xanthopoulos, G.; Kazoglou, Y. (2023) Grazing as a Management Tool in Mediterranean Pastures: A Meta-Analysis Based on A Literature Review. *Land*, 12 (7). <https://doi.org/10.3390/land12071290>.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijen, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- Ospina-Álvarez, A., Martins-Aragão, G., López-López, L., Villasante, S., & Moranta-Mesquida, J. (2024). Global hake production and trade: Insights for food security and supply chain resilience. *npj Ocean Sustainability*, 3(52). <https://doi.org/10.1038/s44183-024-00083-5>
- Oyinlola, M.A., Reygondeau, G., Wabnitz, C.C.C., Frölicher, T.L., Lam, V.W.Y., Cheung, W.W.L., (2022). Projecting global mariculture production and adaptation pathways under climate change. *Glob. Chang. Biol.* 28, 1315–1331. <https://doi.org/10.1111/gcb.15991>
- Padró, R., Tello, E., Marco, I., Olarieta, J. R., Grasa, M. M., & Font, C. (2020). Modelling the scaling up of sustainable farming into Agroecology Territories: Potentials and bottlenecks at the landscape level in a Mediterranean case study. *Journal of Cleaner Production*, 275(124043). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124043>
- Pardo, G., Martin-García, I., Arco, A., Yanez-Ruiz, D. R., Moral, R., & del Prado, A. (2016). Greenhouse-gas mitigation potential of agro-industrial by-products in the diet of dairy goats in Spain: a life-cycle perspective. *Animal Production Science*, 56, 646-654. <https://doi.org/10.1071/an15620>
- Pauly, D., Christensen, V. (1995) Primary production required to sustain global fisheries, *Nature* 374:255-257
- Pinnegar, J.K., Hamon, K.G., Kreiss, C.M., Tabeau, A., Rybicki, S., Papathanasopoulou, E., Engelhard, G.H., Eddy, T.D., Peck, M.A., (2021). Future Socio-Political Scenarios for Aquatic Resources in Europe: A Common Framework Based on Shared-Socioeconomic-Pathways (SSPs). *Front. Mar. Sci.* 7, 1096. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.568219>.
- Pfiffner, L., & Stöckli, S. (2023). Agriculture and biodiversity: Impacts of different farming systems on biodiversity. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL). Available at: <https://www.fibl.org>
- Piipponen, J.; Jalava, M.; de Leeuw, J.; Rizayeva, A.; Godde, C.; Cramer, G.; Herrero, M.; Kummu, M. (2022) Global Trends in Grassland Carrying Capacity and Relative Stocking Density of Livestock. *Global Change Biol.*, n/a (n/a). <https://doi.org/10.1111/gcb.16174>.
- Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B. L., Dietrich, J. P., Doelmann, J. C., Gusti, M., Hasegawa, T., Kyle, P., Obersteiner, M., Tabeau, A., Takahashi, K., Valin, H., Waldhoff, S., Weindl, I., Wise, M., ... Vuuren, D. P. va. (2017). Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 42, 331-345. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>
- Plieninger, T., Schaich, H. & Kizos, T. (2011) Land-use legacies in the forest structure of silvopastoral oak woodlands in the Eastern Mediterranean. *Reg Environ Change* 11, 603–615. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0192-7>
- Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, Pub. L. No. Real Decreto 47/2022, BOE-A-2022-860 5664 (2022). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/01/18/47>

- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Rivera-Ferre, M.G., Dean, G., Escalante Moreno, H., Infante Amate, J., Aguilera, E., (2023). El impacto en el empleo de la transición agroecológica en España. Amigos de la Tierra, online. <https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2023/11/empleo-y-transicion-agroecologica-en-espana.pdf>
- Rodríguez, A., Sanz-Cobeña, A., Ruiz-Ramos, M., Aguilera, E., Quemada, M., Billen, G., Garnier, J., Lassaletta, L., (2023). Nesting nitrogen budgets through spatial and system scales in the Spanish agro-food system over 26 years. *Sci. Total Environ.* 892, 164467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164467>
- Sampedro-Sánchez, D. (2022). Can irrigation technologies save water in closed Basins? The effects of drip irrigation on water resources in the Guadalquivir River Basin (Spain). *Water Alternatives*, 15(2), 501-522.
- Saralegui-Díez, P., Aguilera, E., González de Molina, M., & Guzmán-Casado, G. I. (2023). From field to table through the long way. Analyzing the global supply chain of Spanish tomato. *Sustainable Production and Consumption*, 42, 268-280. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.10.003>
- Schau, E. M., Ellingsen, H., Endal, A., & Aanondsen, S. A. (2009). Energy consumption in the Norwegian fisheries. *Journal of Cleaner Production*, 17(3), 325-334.
- Sumaila, U.R., Pierruci, A., Oyinlola, M.A., Cannas, R., Froese, R., Glaser, S., Jacquet, J., Kaiser, B.A., Issifu, I., Micheli, F., Naylor, R., Pauly, D., 2022. Aquaculture over-optimism? *Front. Mar. Sci.* 9, 984354. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.984354>
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B.L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S.J., Herrero, M., Carlson, K.M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L.J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Godfray, H.C.J., Tilman, D., Rockström, J., Willett, W., (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562, 519-525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
- Teague, R., Kreuter, U., (2020). Managing Grazing to Restore Soil Health, Ecosystem Function, and Ecosystem Services. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187>
- Tello, E., Galán, E., Cunfer, G., Guzmán Casado, G. I., González de Molina, M., Krausmann, F., Gingrich, S., Sacristán, V., Marco, I., Padró, R., & Moreno-Delgado, D. (2015). Working Paper 156 - A proposal for a workable analysis of Energy Return On Investment (EROI) in agroecosystems . Part I: Analytical approach.
- Vila-Traver, J., Aguilera, E., Infante-Amate, J., & González de Molina, M. (2021). Climate change and industrialization as the main drivers of Spanish agriculture water stress. *Science of the Total Environment*, 760, 143399. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143399>
- van Vuuren, D.P., Stehfest, E., den Elzen, M.G.J., Kram, T., van Vliet, J., Deetman, S., Isaac, M., Klein Goldewijk, K., Hof, A., Mendoza Beltran, A., Oostenrijk, R., van Ruijven, B., (2011). RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Clim. Change* 109, 95-116. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0152-3>.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., ... Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393, 447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Wriedt, G., Van der Velde, M., Aloe, A., & Bouraoui, F. (2009). Estimating irrigation water requirements in Europe. *Journal of Hydrology*, 373(3-4), 527-544. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.05.018>
- Xue, L., Liu, G., Parfitt, J., Liu, X., Van Herpen, E., Stenmarck, Å., O'Connor, C., Östergren, K., & Cheng, S. (2017). Missing Food, Missing Data? A Critical Review of Global Food Losses and Food Waste Data. *Environmental Science and Technology*, 51(12), 6618-6633. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00401>

Edita:

alimentta think tank para la
transición alimentaria

Autores:

Pablo Saralegui-Díez / Eduardo Aguilera / Isabel Cerrillo García / Manuel González de Molina / Gloria I. Guzmán / Lidia López / Joan Moranta / Rubén Morilla / Nicolás Olea / María Ramos / Eduardo Ramírez / Sílvia Rasero / Marta Rivera-Ferre / Sergio Salazar / Nuria Salmerón / Sebastian Villasante / Juan Vitoria /

Publicación: mayo de 2025

Más información: www.alimentta.com



Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada
3.0 España (CC BY-NC-ND 3.0 ES)