

# LA URGENCIA DE UNA TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA EN ESPAÑA

Análisis de escenarios, estrategias e impactos ambientales de la transformación del sistema agroalimentario español



Amigos de  
la Tierra

## Coordinación técnica y edición de contenidos

Andrés Muñoz Rico (Amigos de la Tierra)

## Edición y supervisión de imagen

Teresa Rodríguez Pierrard (Amigos de la Tierra)

## Autores

Eduardo Aguilera (CEIGRAM, Universidad Politécnica de Madrid) y Marta G. Rivera Ferre (INGENIO (CSIC-Universitat Politècnica de València))

## Aportaciones científicas:

Mar Calvet,  
Alfredo Rodríguez,  
Alfredo Morilla,  
Gloria Guzmán,  
Manuel González de Molina  
Juan Infante Amate  
y Alberto Sanz Cobeña

Publicación bajo licencia Creative Commons  
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

---

---

**Junio 2022**



Financiado por el programa IMCAP de la Unión Europea. El contenido de la presente actividad representa únicamente las opiniones del autor y es responsabilidad exclusiva de este. La Comisión Europea no asume ninguna responsabilidad por el uso que pudiera hacerse de la información contenida.



# APARTADOS DEL INFORME

- 1** Introducción sobre el sistema alimentario global y español
- 2** Descripción de las estrategias analizadas para incrementar la sostenibilidad del sistema agroalimentario
  - I. Estrategias productivas
  - II. Estrategias alimentarias
  - III. Reducción de la pérdida y desperdicio alimentario
- 3** Descripción de los escenarios agroalimentarios proyectados para España
- 4** Análisis de los escenarios agroalimentarios y sus impactos medioambientales
- 5** Limitaciones metodológicas y líneas futuras de investigación
- 6** Conclusiones y peticiones a Autoridades Públicas
- 7** REFERENCIAS

# 1

## INTRODUCCIÓN SOBRE EL SISTEMA AGROALIMENTARIO GLOBAL Y ESPAÑOL

Los sistemas agroalimentarios juegan un papel esencial en el sostenimiento de la vida en general, y de la humanidad en particular. Condicionan fuertemente el ecosistema planetario, alimentan a la población mundial a partir del uso de recursos naturales y constituyen el principal medio de vida de miles de millones de personas en todo el mundo, por lo que según cómo se desarrollen y dependiendo del tipo de aprovechamiento que hagan de dichos recursos, impactarán de una manera u otra a nivel social y ambiental. Desde hace varias décadas se suceden y se superponen crisis políticas, económicas, climáticas, ambientales, sociales, sanitarias, ligadas a los sistemas agroalimentarios, pero fundamentalmente al sistema alimentario global, que conducen a la mayoría de la población y de los ecosistemas a situaciones de extrema vulnerabilidad, poniendo en riesgo el propio sostenimiento de la vida. Este conjunto de crisis que algunos agrupan en una crisis civilizatoria, nos conduce a la necesidad de reformular el desarrollo socioeconómico a distintos niveles para enfrentar las amenazas y retos que se presentan, donde el sistema agroalimentario se presenta como un elemento clave a transformar para transitar hacia un sistema más sostenible y que garantice el bienestar de toda la población<sup>1,2</sup>.

Aunque parezca un objetivo difícil, no debemos olvidar que no sería la primera transformación sufrida por dicho sistema. Una de ellas, con grandes impactos a nivel global, fue la denominada “revolución verde”, desarrollada en la década de 1960. A partir de la introducción de un paquete tecnológico formado por variedades de semillas mejoradas, pesticidas y fertilizantes inorgánicos, la producción agropecuaria se industrializó e intensificó. En paralelo a los cambios tecnológicos, diferentes cambios institucionales a nivel global favorecieron la globalización del sistema agroalimentario. Todo ello permitió aumentar la producción global de alimentos<sup>3</sup> muy por encima del crecimiento de la población mundial. Sin embargo, a pesar de esas innovaciones, no se pudo garantizar el derecho a la alimentación<sup>A</sup> y la seguridad alimentaria<sup>B</sup> en todo

el mundo. A día de hoy, todavía gran parte de la población no tiene acceso a alimentos nutritivos, sanos y de calidad en la cantidad adecuada para poder desarrollar una vida plena. Así, observamos que, a pesar de que la producción alimentaria nunca había sido tan elevada, sigue habiendo un importante número de personas que pasan hambre, a las que se suman el creciente número de personas en estado de inseguridad alimentaria porque consumen en exceso, o por dietas desequilibradas<sup>3</sup>. Según datos de FAO y otras organizaciones<sup>4</sup> entre 720 y 811 millones de personas sufren desnutrición y 1900 millones de personas sufren de sobrepeso, de las cuales más de 700 millones son obesas<sup>5</sup>. Asimismo, el hambre escondida, es decir, la falta de algún tipo de micronutriente en la dieta, se estima que alcanza a unos 2 mil millones de personas en todo el mundo<sup>3</sup>. Finalmente, se estima que unos 3 mil millones de personas no tienen acceso a una dieta saludable<sup>4</sup>. A esto hemos de añadir que la industrialización e intensificación de los sistemas agroalimentarios, la expansión de monocultivos a nivel global y la globalización alimentaria han llevado a la ruina a millones de productores/as a nivel mundial, provocando entre otras cosas procesos de migración importantes desde zonas rurales hacia zonas urbanas, comportando que la población dependa en mayor medida del suministro de alimentos por parte del mercado y aumente la demanda de alimentos procesados “baratos”, característicos del sistema alimentario industrializado<sup>6</sup>. De esta forma se entra en un círculo vicioso en el que cada vez hay menos personas productoras y mayor dependencia del sistema agroalimentario globalizado.

Este sistema agroindustrial globalizado se sustenta además en dinámicas altamente perjudiciales para el medioambiente. En relación a los nueve límites planetarios identificados por Rockström et al.<sup>7</sup>, cinco están íntimamente relacionados con el sistema agroalimentario: la interferencia en el ciclo del nitrógeno y el fósforo, el uso y contaminación del agua, el uso y degradación de los suelos, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, posicionándolo como el principal responsable del deterioro ambiental a nivel global<sup>1,2,8</sup>.

En relación al ciclo del nitrógeno (N) y el fósforo (P), ambos son nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos y, por lo tanto, para el funcionamiento de los ciclos productivos agrícolas. La producción agrícola convencional los aplica en exceso<sup>c</sup> en los campos de cultivo provocando impactos sobre la salud humana y grandes disfunciones en los ecosistemas y en los sistemas planetarios, como la lixiviación de nitratos, que provoca la contaminación de las aguas subterráneas y la eutrofización de los cuerpos de agua, relacionada con el P<sup>9</sup>, las emisiones de amoníaco, un contaminante del aire que da lugar a partículas PM 2.5, muy dañinas para la salud<sup>10</sup>, o la emisión del gas de efecto invernadero óxido nitroso<sup>11,12</sup>. Se puede deducir fácilmente que la extrema dependencia de estos recursos para la estabilidad de la producción alimentaria aumenta la vulnerabilidad del sistema, a la vez que produce externalidades negativas de manera sistemática. Por tanto, es indispensable desarrollar sistemas productivos con menor dependencia de insumos externos, que se fundamenten en los ciclos cerrados y el reciclado de nutrientes, entre otros<sup>1,13</sup>.

Respecto a la pérdida de biodiversidad, la expansión de la superficie agraria y prácticas inapropiadas en la agricultura industrial, que incluyen el uso excesivo de productos tóxicos o la especialización productiva basada en un reducido número de especies cultivadas en grandes monocultivos, han provocado grandes pérdidas de biodiversidad a nivel global<sup>14</sup>. Actualmente, nos encontramos ante la sexta extinción masiva de especies por causas antropogénicas. Cabe destacar que el sistema alimentario se sustenta principalmente en solo 200 especies vegetales de 6.000 especies cultivables, para obtener la producción global de alimentos, de la cual el 66% proviene de apenas 9 especies y el 50% de 4 (arroz, patata, maíz y trigo). Lo mismo ocurre con la producción animal, donde la ganadería global se basa en apenas 40 especies, de las cuales solamente unas pocas proporcionan la mayor parte de la carne, la leche y los huevos que consumimos<sup>14</sup> y en el caso de la carne sólo 3 especies aportan más del 90% (pollo, cerdo y vacuno).

El sistema alimentario es extremadamente vulnerable a la pérdida de biodiversidad, porque afecta directamente a la capacidad de obtención de alimentos. Conforme disminuye la diversidad agraria, también disminuye la capacidad de resiliencia y adaptación del sistema alimentario al cambio ambiental global, y en particular al cambio climático.

Sobre el uso del suelo y la erosión del mismo, el sistema agroalimentario ocupa aproximadamente la mitad de la superficie terrestre libre de hielo (12% cultivos y 37% pastizales<sup>d</sup>) siendo el principal catalizador de cambios en el uso de la tierra, fundamentalmente en forma de deforestación<sup>3</sup>. Debido a la producción intensiva, la erosión terrestre en suelos con fines agrarios es entre 10 y 100 veces mayor a la formación de suelo, situación exacerbada por el cambio climático, el cual aumenta el riesgo de desertificación, con un incremento acumulado del 1% a nivel global desde los años 60<sup>3</sup>.

En relación al cambio climático, se estima que la contribución del sistema agroalimentario es entre un 21% y un 37% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI)<sup>3</sup>, un tercio según la estimación más completa y reciente<sup>15</sup>. En el caso de España, para entender a grandes rasgos cómo la transición de los sistemas alimentarios preindustriales al sistema alimentario agroindustrial actual afectó a las emisiones de GEI, podemos señalar que: i) las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentaron debido a la expansión de la energía fósil que permitió la industrialización y globalización del sistema agroalimentario<sup>16</sup>, y a las pérdidas de materia orgánica del suelo por los cambios en su uso y manejo<sup>17</sup>, y de biomasa por la deforestación asociada en terceros países<sup>18</sup>; ii) las emisiones de CH<sub>4</sub> aumentaron debido a la expansión de la cabaña ganadera<sup>19,20</sup> y de los cuerpos de agua y regadío<sup>21</sup>; iii) las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) se multiplicaron por el crecimiento del uso de fertilizantes sintéticos y el crecimiento de la cabaña ganadera y sus deyecciones, que alteraron el ciclo del nitrógeno<sup>22,23</sup>.

Además de los impactos ambientales, relacionados con los límites planetarios, la elevada dependencia del sistema agroalimentario industrializado de recursos no renovables es especialmente preocupante en un contexto de creciente escasez de los mismos. En particular, la energía no renovable se ha convertido en un elemento indispensable en los sistemas agrarios actuales, altamente dependientes de insumos externos, maquinaria e infraestructuras provenientes de combustibles fósiles y minerales. Los sistemas



agrarios tradicionales hasta principios o mediados del siglo XX eran “de base solar”, es decir, estaban sustentados en transformaciones de la energía solar recibida a nivel local, mayoritariamente derivados de la fotosíntesis, como la fuerza animal, mano de obra humana e insumos orgánicos locales. Pero durante el siglo XX, se dio una transición hacia sistemas agrarios industriales basada en el uso a gran escala de insumos externos, lo que disminuyó la eficiencia energética de la agricultura<sup>24</sup>. Estos insumos son obtenidos a partir de recursos no renovables, los cuales forman parte de un mercado global con un elevado nivel de incertidumbre sujeto a cuestiones geopolíticas imprevisibles y no controlables y en muchos casos ya han sobrepasado su cenit productivo. Como resultado del proceso de agotamiento, la eficiencia que habían alcanzado estos procesos durante el siglo XX está decreciendo<sup>25</sup>, y hoy en día se necesita invertir cada vez más energía para la extracción de recursos no renovables con un retorno de energía menor. Todo ello nos sitúa en un punto crítico que amenaza el sostenimiento del sistema socioeconómico actual y en particular del sistema alimentario agroindustrial.

Estos datos nos permiten tener una primera imagen de lo que representa el modelo del sistema agroalimentario altamente industrializado y globalizado. En la fase productiva se ha fomentado el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas sintéticos y de recursos hídricos, entre otros, para aumentar la productividad, comportando una explotación completamente insostenible de los recursos naturales que compromete la producción futura. En el caso de la ganadería, el aumento de la productividad se ha basado en el uso de piensos obtenidos de cultivos para su alimentación, lo que posibilita el desacoplamiento del territorio de la producción ganadera (que se asocia a altos costes del transporte y a la dificultad para cerrar los ciclos de nutrientes, entre otros problemas) y fomenta la competición entre el uso forrajero y el uso alimentario de la producción agrícola. Pero, si se avanza en la cadena alimentaria, se aprecia cómo la industrialización y globalización también afectan al consumo, favoreciendo un modelo de elevada transformación y procesado de los alimentos, para que puedan recorrer largas distancias, aumentando el gasto energético y las emisiones de GEI, y presentando un riesgo para la salud humana debido a la mala calidad nutricional de los productos y a la presencia de residuos de pesticidas y plásticos. En efecto, las transformaciones sufridas en la producción en las últimas décadas han ido acompañadas de transformaciones paralelas en el consumo, en lo que se conoce como la

transición nutricional<sup>26</sup>, en la que la industrialización en la oferta conduce a dietas caracterizadas por alto contenido en azúcar, proteínas de origen animal, grasas saturadas y alimentos ultraprocesados. Tienen especial relevancia en este cambio de patrón de consumo, tanto desde un punto de vista ambiental como de salud, el incremento en la presencia de alimentos procesados en las dietas, que requieren de elevados costes energéticos, el aumento en el consumo de azúcar y el aumento del consumo de carne, producción que por sí sola es la responsable del 14,5% de las emisiones de GEI<sup>3</sup>. Así se identifican dinámicas en el consumo que exacerbaban los efectos negativos del modelo alimentario industrial y contribuyen a su perpetuación.

A este panorama hay que añadir el hecho de que el planeta y la humanidad se encuentran en medio de una crisis climática que amenaza el desarrollo de la vida tal y como está organizada. Los efectos del cambio climático en el sistema agroalimentario afectarán a todas las dimensiones de la seguridad alimentaria: la disponibilidad, el acceso, el uso y la estabilidad. Por un lado, la producción de los cultivos se verá afectada no solo por un clima más hostil y variable, con mayor frecuencias de eventos extremos como sequías, olas de calor o lluvias torrenciales, sino también por una mayor incidencia de plagas y enfermedades, así como una pérdida de valor nutricional. También el desplazamiento de las estaciones afecta a la polinización de los cultivos. Este hecho es destacable, ya que los alimentos de origen vegetal son fundamentales para poder llevar a cabo dietas saludables y sostenibles. La ganadería también se ve afectada: En el caso de la ganadería intensiva o mixta se podrán observar aumentos en los precios de los granos que se emplean para la alimentación animal, así como una menor capacidad de adaptación a las nuevas condiciones climáticas por parte de las razas empleadas en la producción. La ganadería extensiva o los sistemas pastoriles se verán afectados por la reducción en la productividad de los pastos y en la de los animales, que disminuirá debido al estrés térmico y tendrán una mayor incidencia de enfermedades, entre otras, aunque su capacidad de adaptación es mayor al tratarse de razas autóctonas<sup>3,27,28</sup>.

A partir de los datos expuestos, se hace evidente que es urgente y extremadamente necesario transformar el sistema agroalimentario industrial hacia un modelo sostenible y que garantice la salud de toda la población y del planeta. El IPCC<sup>3</sup> y la Comisión EAT-Lancet<sup>2</sup> coinciden identificando las estrategias principales a implementar para reducir las emisiones de GEI y aumentar

la resiliencia del sistema agroalimentario, permitiendo a su vez el desarrollo de dietas saludables, las cuales se pueden resumir en: i) lograr una mayor eficiencia y sostenibilidad en la producción de alimentos mediante la generalización de prácticas agrarias sostenibles; ii) cambios en los patrones de consumo, modificando las elecciones alimentarias hacia un menor consumo de carne y de alimentos insanos; y iii) la reducción de la pérdida y desperdicio alimentarios<sup>2,3</sup>. Estas estrategias abordan el sistema agroalimentario de manera holística, teniendo en cuenta que se deben intervenir los distintos eslabones de la cadena simultáneamente y de manera coordinada, a la vez que se posiciona la alimentación sostenible, sana y de calidad como un derecho fundamental y no supeditado a las necesidades del mercado. La comunidad científica propone combinar diferentes estrategias simultáneamente para lograr una transformación hacia sistemas sostenibles y saludables, como son incrementar la producción ecológica, reducir el desperdicio alimentario y reducir el consumo de proteína animal. A nivel global, Muller et al.<sup>29</sup> desarrollaron varios escenarios que combinan estas tres estrategias, y encontraron que la viabilidad de la agricultura ecológica para alimentar a la población mundial depende de su combinación con una reducción del desperdicio de alimentos y con la limitación de la alimentación animal a aquellos productos que no compiten con la alimentación humana.

En este momento crítico, este trabajo pretende contribuir mediante datos científicos al actual debate sobre la necesidad de transformación de los sistemas agroalimentarios, aportando datos del impacto de posibles escenarios con diferentes grados de ambición en la transformación de la agricultura y alimentación españolas, sobre una serie de indicadores ambientales. En particular, analizamos cuantitativamente aquellos indicadores biofísicos con especial relevancia en los sistemas alimentarios desde el marco de los límites planetarios (clima, usos del suelo, calidad del suelo, calidad del aire, calidad del agua y uso de recursos no renovables). Los diferentes grados de ambición en las metas a conseguir planteados por los diferentes escenarios desarrollados (que incluyen entre otras cuestiones las políticas públicas del Pacto Verde Europeo, como la Estrategia de la Granja a la Mesa, parcialmente abordado en la reciente reforma de la PAC para el periodo 2023-2027) permitirán vislumbrar los diferentes beneficios o impactos ambientales y para la salud humana, sirviendo de base para diseñar estrategias para la necesaria transición hacia la construcción de sistemas alimentarios sostenibles y saludables en el contexto español que permitan abordar las interconectadas crisis ambientales.

## Relación de siglas y abreviaturas

<b>AE</b>	Escenario Agroecológico.
<b>Agri:</b>	Escenario en el que sólo se realizan cambios en la producción.
<b>Base:</b>	Escenario Base que representa una descripción del sistema agroalimentario actual.
<b>ENR:</b>	Energía No Renovable.
<b>F2F:</b>	Escenario de la Granja a la Mesa.
<b>GEI:</b>	Gases de Efecto Invernadero.
<b>GgN:</b>	Gigagramos (Miles de toneladas) de nitrógeno.
<b>MgC/Ha:</b>	Megagramos (equivalente a tonelada) de carbono por hectárea.
<b>Mha:</b>	Millones de hectáreas.
<b>MtCO<sub>2</sub>e:</b>	Millones de toneladas métricas equivalente de dióxido de carbono.
<b>Mton:</b>	Millones de toneladas.
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:</b>	Nitrato.
<b>PCG:</b>	Potencial Calentamiento Global
<b>PJ:</b>	Petajulios.
<b>SAA:</b>	Escenario en el que además de los cambios en la producción, se realizan cambios en la dieta de la población.
<b>SAU:</b>	Superficie Agraria Útil.

# 2

## ESTRATEGIAS PARA INCREMENTAR LA SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO

En este trabajo analizamos un conjunto de estrategias propuestas para transformar el sistema alimentario español hacia un horizonte de sostenibilidad, basándonos en la evidencia y propuestas realizadas por la comunidad científica. Las estrategias están agrupadas en estrategias que afectan a la producción, cuyo objetivo sería transitar a una producción agroecológica; estrategias que afectan a la dieta, encaminadas fundamentalmente a transitar hacia dietas más saludables; y una estrategia que afecta tanto a la producción como al consumo, que es la reducción de la pérdida y desperdicio alimentario.

### I. Estrategias productivas

En el ámbito productivo, en este trabajo analizamos cinco estrategias principales: i) Incremento de la agricultura ecológica normativa, con un manejo similar al actual; ii) “Agroecologización” de la producción ecológica, con expansión de las prácticas agroecológicas (cubiertas vegetales, variedades tradicionales, acolchados, etc.); iii) Eliminación de los barbechos, que son sustituidos mayoritariamente por leguminosas, y en menor medida por hortalizas y cultivos azucareros; iv) Uso de energías renovables, solar y biocombustibles, para autoconsumo de las explotaciones agropecuarias; y v) Incremento de la ganadería extensiva, con aprovechamiento de pastizales y sin importación de pienso de países terceros.

La producción ecológica se presenta como una oportunidad para hacer frente a la crisis climática y energética, ya que no depende del uso de fertilizantes ni pesticidas sintéticos, lo cual disminuye las emisiones de GEI y el uso de energía no renovable, y a su vez, presenta efectos positivos para los agroecosistemas como el aumento de la fertilidad del suelo, el secuestro de carbono, la protección de los cuerpos de agua, el control de la erosión y el incremento de la biodiversidad, entre otros <sup>3,29,30</sup>. No obstante, la agricultura ecológica, por sí sola, y con la continuidad de las dinámicas socioeconómicas actuales, no podría garantizar la alimentación de la población mundial estimada para el año 2050<sup>29</sup>, fundamentalmente por una menor productividad, medida en kilogramos

de un producto por unidad de superficie, que la de la agricultura convencional. Por ello, se deduce que en el caso que se produjera una conversión del 100% de los cultivos hacia la producción ecológica sería necesario aumentar la superficie de tierra cultivable, lo que tendría impactos perjudiciales para el medioambiente. Sin embargo, esto se deriva de un enfoque productivista y reduccionista de los sistemas alimentarios, sin alterar el sistema, en definitiva y sin cuestionar por ejemplo los patrones de consumo. Desde un enfoque de derecho a la alimentación, y cambiando las unidades a kg de biomasa por hectárea, por ejemplo, los sistemas agroecológicos pueden ser más productivos<sup>E</sup> y ofrecer mayor diversidad de alimentos. La otra gran preocupación que genera la producción ecológica es que aparentemente la cantidad de nitrógeno que proporcionaría en el suelo no sería suficiente para mantener la productividad del sistema<sup>29,31</sup>. En este punto, y para el caso concreto de España y Europa, tras décadas de intensificación de los sistemas agroalimentarios y de producción de excedentes, cabría preguntarse si la productividad debe ser el elemento central de debate en los sistemas agroalimentarios, o si bien debemos centrar los esfuerzos en conseguir reducir el impacto sobre el medioambiente y garantizar una dieta saludable y nutritiva. Así, algunos

autores destacan que bajo un enfoque meramente productivista y un análisis simplista, será necesario reducir la brecha de producción entre agricultura ecológica y convencional en un 75%, en lo que se denomina una intensificación sostenible, pero destacan que lo verdaderamente necesario es redirigir el sistema agroalimentario de una superproducción orientada a generar grandes cantidades hacia una producción con menores cantidades, pero de alimentos de alta calidad nutricional<sup>1</sup>. En definitiva, es necesario cambiar el enfoque de los sistemas agroalimentarios hacia sistemas que sean medioambientalmente sostenibles, socialmente viables y que produzcan alimentos sanos y nutritivos, siendo necesario para ello cambiar también los indicadores con los que medimos su eficiencia.

Para poder cumplir este reto deberá trabajarse simultáneamente en distintos eslabones más allá del productivo, a la vez que se apuesta por sistemas agrarios que no persiguen la hiperproductividad, sino la sustentabilidad y la calidad de los productos<sup>29</sup>. Aquí es donde la agroecología, que va más allá de las prácticas de manejo y plantea un acercamiento holístico al sistema agroalimentario que tiene en cuenta los aspectos medioambientales y socioeconómicos adaptándose a las características locales, puede aportar soluciones interesantes más allá del mero incremento de la superficie de cultivo ecológico. El panel de expertos del comité de seguridad alimentaria de la ONU<sup>30</sup> describe el rol de la agroecología para hacer frente a los retos que se presentan, ya que incorpora una visión holística del sistema alimentario como productor de alimentos y no de mercancías, priorizando la seguridad alimentaria<sup>32</sup> frente al lucro económico industrial. La agroecología reconoce los sistemas productivos como agroecosistemas, es decir, aborda la producción de alimentos de manera integral en toda la finca buscando la interacción y sinergias entre prácticas como, por ejemplo, la integración de agricultura y ganadería, las

asociaciones adecuadas entre diferentes cultivos y sus rotaciones, combinando diferentes tipos de cultivos<sup>33</sup>. Además, la agroecología combina el conocimiento local y tradicional, desarrollado a través de la interacción de los/as agricultores/as con los agroecosistemas e identificado como una herramienta fundamental para aumentar la resiliencia frente al cambio climático<sup>3</sup>, y la ciencia moderna, aumentando así las opciones de adaptación a las condiciones externas cambiantes. En el caso de los agroecosistemas mediterráneos las prácticas agroecológicas son especialmente relevantes, ya que permiten mantener la sustentabilidad y eficiencia de los cultivos gracias a la baja dependencia de insumos externos a través del reciclado de materia orgánica o el uso de coberturas vegetales de los suelos, lo cual disminuye el riesgo de erosión del suelo, altamente degradado en este ecosistema, aumenta la fertilidad, y favorecen la diversificación funcional de los sistemas con el fomento de los sistemas agro-silvo-pastoriles tradicionales con los que se asocia una elevada diversidad agraria y, por lo tanto, mayor resiliencia<sup>34</sup>. Las características mencionadas disminuyen la vulnerabilidad frente al cambio climático y contribuyen a su mitigación por secuestro de carbono. Un incremento de la superficie ecológica desde un enfoque agroecológico requiere a su vez de estrategias encaminadas a la diversificación agraria y la recuperación de la agrobiodiversidad. En este sentido, desde FAO<sup>35</sup> se señala la necesidad de reconocer el rol indispensable de la diversificación agraria para la sustentabilidad de los agroecosistemas a través del uso de distintas especies vegetales y animales, prácticas que promueven a su vez la resiliencia y la nutrición y la seguridad alimentaria. La agroecología se sustenta en el uso del conocimiento y las especies tradicionales locales, así como en una alta diversificación de producciones y la integración de prácticas agrícolas y ganaderas en el manejo de los agroecosistemas<sup>36</sup>.

Por otro lado, la promoción de la ganadería extensiva se incluye como estrategia de sostenibilidad por razones diversas. Previo a su industrialización, la ganadería ofrecía importantes servicios ecosistémicos que se siguen desarrollando en sistemas extensivos, de pastoreo



o mixtos, como son el aprovechamiento de recursos que no pueden ser destinados a la alimentación humana, la mejora de la calidad y fertilidad del suelo reduciendo la erosión y el aumento en la fertilidad a través del manejo rotacional de pastos y del abonado con el estiércol de los animales; el incremento de la biodiversidad mediante la dispersión de semillas por las heces y el mantenimiento de áreas con vegetación herbácea; la reducción en el riesgo y magnitud de incendios; o la captación de carbono en los pastizales<sup>34,37</sup>, que pueden comportarse como sumideros netos de carbono<sup>38</sup>, y en algunos casos llegar a compensar todas las emisiones generadas por los animales<sup>39</sup>. Así mismo, se debe reconocer la importante contribución de estos sistemas productivos a la seguridad alimentaria y los medios de vida de millones de personas a nivel global (se estima que existen entre 200 y 500 millones de pastores en todo el mundo<sup>40</sup>.) Este hecho tiene gran valor cultural y también permite que muchas personas tengan acceso

a nutrientes de alta calidad<sup>41</sup>. Fomentar los sistemas ganaderos tradicionales ligados al territorio (pastoriles, extensivos y mixtos) en España, y otros países desarrollados, permitiría relocalizar la producción ganadera, siendo un punto clave para la transición hacia sistemas más sostenibles y saludables. Por ello, se debe apostar por implementar sistemas productivos que integren el pastoreo, sean resilientes, estén ligados al territorio y se basen en prácticas agroecológicas como el reciclado de nutrientes, el uso de fertilizantes naturales como el estiércol, la diversificación de las explotaciones y el impulso de razas tradicionales<sup>6,34,41</sup>.

## II. Estrategias alimentarias

Tal y como señalábamos en el apartado anterior, una transformación en el ámbito productivo no es suficiente para hacer el sistema alimentario más sostenible y capaz de garantizar una alimentación sana a toda la población. La expansión del sistema agroalimentario globalizado ha favorecido lo que se denomina la “transición nutricional”, hacia dietas con un mayor consumo de productos de origen animal, alimentos ultraprocesados y azúcar, y una reducción en el consumo de proteína vegetal. Por ello, la comunidad científica propone disminuir el consumo de alimentos poco saludables y sostenibles en un 50% a nivel global<sup>2</sup>. La dieta conecta directamente al ser humano con el cuidado de su salud y la del medioambiente<sup>1</sup> y sabemos que dietas sanas y sostenibles permitirían aumentar la resiliencia del sistema agroalimentario. En los países

mediterráneos, la dieta estaba adaptada a la disponibilidad de los recursos locales, la que implicaba un bajo consumo de carne con una alta proporción de verduras y frutas, cereales enteros, legumbres y pescado, y la ingesta de grasas insaturadas a través del aceite de oliva<sup>34</sup>. Los beneficios de la dieta mediterránea tanto para la salud de las personas como la del planeta ha sido ampliamente documentada<sup>42</sup>. Sin embargo, en España esta dieta está desapareciendo<sup>43</sup>. En el ámbito alimentario, las propuestas analizadas en este trabajo son ajustes en la dieta que permitan transitar hacia dietas más saludables y sostenibles en el marco de la dieta mediterránea, lo que siguiendo las recomendaciones de la literatura, hemos aterrizado en: i) reducción en el consumo de proteína animal ajustando el consumo a la cabaña ganadera que los





recursos de los ecosistemas locales pueden mantener en los diferentes tipos de manejo; ii) reducción en el consumo de azúcar; y iii) incremento en el consumo de verdura y proteína vegetal (legumbres).

Los patrones actuales de producción y consumo de proteína de origen animal en España no pueden ser asumidos dentro de los límites planetarios. La Agencia Europea de Medioambiente<sup>44</sup> señala como desde la década de los 90 hasta el 2018 España se sitúa en las primeras posiciones de toda la UE respecto al aumento de número de cabezas de vacuno y porcino, concretamente, el número de cabezas de vacuno no lechero ha aumentado más de un 60% desde 1990 y un 57% el de porcino blanco<sup>45</sup>. El número de granjas sin embargo sigue disminuyendo de manera preocupante, lo que implica un aumento del porcentaje de estos animales criados en granjas de mayor tamaño, como se observa en el último censo agrario<sup>46</sup>. El consumo de carne en España también ha tenido un crecimiento sostenido desde la década de los 60<sup>47</sup> si bien los últimos datos muestran una moderada reducción.

La industrialización y globalización de la ganadería permite a los países miembro de la UE externalizar parte de la huella de carbono de su consumo así como los impactos negativos de la producción intensiva a países de los cuales importa parte de los insumos que utiliza<sup>37</sup>. En terceros países la ganadería es la principal responsable de la deforestación de áreas previamente no intervenidas, fundamentalmente para la producción de cultivos para pienso. En los ecosistemas donde se sitúan las explotaciones destacan la degradación del suelo o la reducción de la calidad del agua y aire. Uno de los impactos más analizados en los últimos años es el incremento en las emisiones de GEI<sup>41</sup>, así por ejemplo, la ganadería representó el 17% de emisiones de GEI<sup>6</sup> en Europa en 2018<sup>44</sup>. En España, la mayor parte de las emisiones de GEI derivadas del consumo de alimentos proceden de alimentos de origen animal (81% del total)<sup>18</sup>. De entre todas las emisiones, las más importantes corresponden a la fermentación

entérica y a la producción, procesado y transporte de pienso, representando aproximadamente cada una de estas categorías un 40% del sector<sup>37</sup>. La producción de metano acapara la mayor atención, la cual por sí sola fue la responsable del 72% de las emisiones totales de este gas en el año 2018 para la UE<sup>44</sup>. Este hecho perjudica la valoración de las producciones extensivas, ya que sus emisiones directas son principalmente de metano porque la alimentación de los animales se basa en la digestión de la celulosa de los pastizales. En España, esta situación es especialmente relevante porque los sistemas productivos ganaderos tradicionales son extensivos o mixtos.

Otra tendencia preocupante a nivel dietético se refiere al incremento en el consumo calórico, con una mayor contribución de las proteínas y de los lípidos a la energía total diaria, en detrimento de la de los hidratos de carbono<sup>48</sup> y una reducción del consumo de legumbres<sup>47</sup>. Siguiendo la recomendación de la OMS<sup>49</sup>, el consumo de azúcares libres no debe superar el 10% del aporte energético total, y para obtener mayores beneficios para la salud, no sobrepasar el 5% de las calorías totales. Por otro lado, siguiendo las recomendaciones de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria<sup>1</sup>, se debe doblar el consumo de verduras y triplicar el de legumbres con respecto al consumo actual.

### III. Reducción de la pérdida y desperdicios alimentarios

Reducir la pérdida y desperdicio alimentarios es una de las estrategias fundamentales para transitar hacia un sistema alimentario sostenible y saludable<sup>2,3,50</sup>. En este trabajo se pone como objetivo la reducción en un 50%, tal y como se propone desde el ámbito científico<sup>1</sup> y como se recoge en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 y en el anteproyecto de Ley de Prevención de las Pérdidas y el Desperdicio Alimentario. La pérdida de alimentos se refiere a la cantidad de alimentos producidos y desperdiciados antes de ser consumidos, mientras que el desperdicio corresponde al descarte que se produce durante el eslabón del consumo.

La FAO<sup>51</sup> cifró aproximadamente en 1.300 millones de toneladas anuales los alimentos para consumo humano que se convierten en pérdidas o desperdicio alimentario, es decir, un tercio del total de los alimentos producidos. La pérdida y desperdicio alimentarios contribuyen a la insostenibilidad del sistema agroalimentario debido a que se asume que una parte significativa de la producción de alimentos quedará por fuera de la cadena alimentaria sin alcanzar el consumo humano, malgastando recursos naturales y energéticos. Así por ejemplo, entre el 8-10% de las emisiones antropogénicas de GEI se relacionan con la pérdida y el desperdicio alimentario<sup>3</sup>. Se estima

que entre un 20%<sup>52</sup> y un 27%<sup>18</sup> de las emisiones de GEI atribuidas a la cesta de la compra española son debidas a las pérdidas y desperdicio alimentarios (un 50% de las cuales se producen durante el consumo). Además, parte de los alimentos que son desechados o que no son cosechados acaban descomponiéndose en vertederos o en el propio cultivo, aumentando las emisiones de GEI en forma de CH<sub>4</sub>. Estos hechos contribuyen al cambio climático y al uso irresponsable de recursos no renovables, poniendo en riesgo la producción futura de alimentos y con ello, la seguridad alimentaria, impactando negativamente en el desarrollo social y económico global. En primer lugar, se reduce la cantidad de alimentos disponibles para la población. En segundo lugar, a nivel económico las personas productoras reducen sus ganancias económicas y las personas consumidoras pueden sufrir incrementos en los precios de los alimentos en diferentes contextos. Y en tercer lugar, como ya se ha comentado, afecta a la producción futura de alimentos amenazando la subsistencia de las generaciones venideras<sup>3,50</sup>. Sin embargo, es imposible reducirlas a cero, ya que se debe asumir, por ejemplo, que es inevitable que una parte de los alimentos no lleguen al consumidor en un estado higiénico-sanitario adecuado; son los desperdicios inevitables.

# 3

## DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS AGROALIMENTARIOS PROYECTADOS PARA ESPAÑA

### I. Contextualización histórica

En este trabajo hemos combinado el análisis histórico con el de posibles escenarios de transformación del sistema alimentario en España. Analizar la evolución del sistema alimentario desde una perspectiva histórica nos permite contextualizar la situación actual para poder evaluar, junto a los resultados de los escenarios, qué margen real u opciones de transformación futura tenemos conforme a la configuración del sistema en diferentes épocas o momentos históricos, es decir, realizar propuestas reales de cambio, y no descontextualizadas de la historia de la agricultura y la alimentación españolas. Por ello, los resultados se presentan y discuten combinando los datos obtenidos del análisis histórico con los de los escenarios.

A nivel histórico se utilizaron tres cortes temporales que ejemplificaran las grandes transiciones históricas

del mismo. El primero se sitúa en 1900, dándonos una perspectiva de las dinámicas agrícolas en la era preindustrial. En este corte temporal solo se estudia la producción de cultivos por cuestiones de disponibilidad de información. El segundo corresponde a 1990, referencia de la situación del sistema agroalimentario español antes de la creación de la Unión Europea y de la Organización Mundial de Comercio, y poco después de la entrada en España en la entonces CEE. Y, por último, el de 2016 (denominado “Base”) muestra la situación actual. Cada uno de estos 3 cortes temporales corresponde a una media de 5 años para evitar que las variaciones interanuales enmascaren las tendencias históricas. Una perspectiva histórica es fundamental también para entender dónde se han producido los principales cambios y dónde puede haber más margen de maniobra en futuras transiciones.

### II. Definición de escenarios

La situación actual del sistema agroalimentario en España (base) la comparamos con una serie de escenarios de transición que incluyen diversas opciones de cambio a nivel de producción y consumo de alimentos (Tabla 1). A nivel productivo, para los escenarios partimos desde el mínimo propuesto por las políticas europeas (estrategia de la granja a la mesa, F2F) y progresivamente vamos avanzando hacia propuestas más ambiciosas (ecológicas (ECO) y agroecológicas (AE), respectivamente). De cada uno de los escenarios mencionados, existen dos versiones, una en la que sólo se realizan cambios en la producción

(F2F\_Agri, ECO\_Agri y AE\_Agri<sup>H</sup>) y otra en la que los cambios en el manejo (o el manejo actual, en el caso del escenario base) se combinan con cambios en el consumo (Base\_SAA, F2F\_SAA, ECO\_SAA, AE\_SAA), en los que se siguen las recomendaciones descritas en el apartado 2. La premisa de este estudio es que una transición hacia sistemas alimentarios sostenibles y saludables requiere de un enfoque de sistema agroalimentario en el que se analicen de manera conjunta los cambios en la producción con los cambios en el consumo. A continuación, se describen las principales asunciones de manejo productivo de cada uno de los escenarios.

El **Escenario Base** de Referencia representa el sistema agroalimentario en torno a 2016 descrito en profundidad en un trabajo previo<sup>18</sup>, que aquí recalculamos con datos actualizados del quinquenio 2014-2018, en lugar de 2010, y completamos con la batería de indicadores antes mencionados. No es por tanto un escenario propiamente dicho, sino una descripción de la situación actual.

El primero de los escenarios alternativos, el **Escenario de la granja a la mesa** (F2F) asume en la producción parte de las exigencias de la Estrategia Europea de la Granja a la Mesa, en particular las de convertir el 25% de la SAU a ecológico, y reducir en un 50% el uso de pesticidas y en un 20% el de fertilizantes nitrogenados de síntesis. Dado que los datos se trabajan a nivel provincial, el 25% de SAU en ecológico se calcula para cada provincia partiendo de lo que ya tiene cada una. A nivel de manejo, en el 25% de superficie cultivada en ecológico se asumen las mismas prácticas estimadas para este manejo en el escenario Base.

En el **Escenario Ecológico** (ECO) se asume una conversión total de la SAU y la cabaña ganadera a ecológico, manteniendo las superficies de cultivo del Escenario Base, con una eliminación total del uso de fertilizantes inorgánicos y pesticidas que son sustituidos por fertilizantes orgánicos y métodos ecológicos del control de plagas. El uso de los pastizales se incrementa hasta llegar al 50% de la biomasa aérea producida en todas las provincias. La eficiencia de conversión de los animales es menor y se asume un 20% menos para el porcino, conejo, pollo, otras aves y bovino de leche, un 10% menos para los pequeños rumiantes y vacuno de carne, y se mantiene igual para equino. Los aditivos para alimentación animal se limitan a los autorizados en agricultura ecológica. Se asume una reducción en la pérdida y desperdicio alimentario de los granos para pienso de dos tercios.

En el **Escenario Agroecológico** (AE) se combina el manejo ecológico del escenario ECO con la generalización de prácticas agroecológicas, el uso de energías renovables, y la eliminación del barbecho. Así, las asunciones son las siguientes: conversión total de la SAU a ecológico con una eliminación total del uso de fertilizantes inorgánicos y pesticidas y la expansión en el uso de pastizales que ya se habían incluido en el escenario ECO, al que se añade la generalización de prácticas de manejo agroecológicas: cubiertas vegetales en cultivos leñosos y en el periodo intercultivo de cultivos herbáceos; eliminación de la quema de restos de cosecha, todo se devuelve al suelo para incrementar la materia orgánica y

la fertilidad; eliminación de los barbechos, que son sustituidos en el caso del secano por leguminosas grano y en el de regadío por patatas, hortalizas y cultivos azucareros, permitiendo así abastecer la demanda de estos productos para alimentación humana; generalización del uso de variedades de cereales tradicionales, con mayor producción de paja y raíces y rendimientos similares a las modernas en condiciones de manejo ecológico; extracción de toda la paja de arroz, para evitar emisiones de CH<sub>4</sub>; uso de energía solar para riego, instalaciones animales y agroindustria; autoproducción de biocombustibles para la maquinaria, empleando grano local y usando el residuo proteico para alimentación animal. Como en el ECO, se asume una reducción en la pérdida y desperdicio alimentario de los granos para pienso de dos tercios.

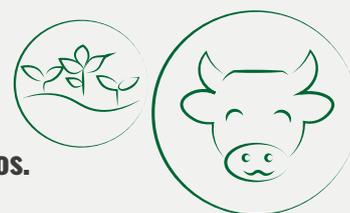


En los escenarios con cambios en la dieta la pérdida y desperdicio alimentario se reducen a la mitad, y se elimina la importación de productos de origen animal (carne, leche, huevos y pescado), aunque se mantiene el consumo de pescado capturado en aguas extranjeras o internacionales por la flota española. También se elimina la importación de materias primas para alimentación animal, por lo que la cabaña y la producción ganadera se ajusta a las posibilidades del territorio, y además se priorizan algunas fuentes para los monogástricos (ej. tortas de maíz, guisantes, otras leguminosas) y se dejan los forrajes, paja y pastos para los rumiantes. De este modo, el consumo de productos de la ganadería se limita a la producción con recursos locales, que variarán en función del escenario. Por otro lado, también se asumen cambios en el consumo de otros tipos de productos para lograr una dieta más saludable, incluyendo reducir a la mitad del consumo de azúcar; doblar el consumo de verduras y triplicar el de legumbres. Los valores de consumo del resto de grupos de productos se mantienen

constantes, aunque puede variar a composición por tipo específico de producto, por ejemplo el aceite de oliva sustituye a otros aceites importados.

En todos los escenarios se calculan los cambios necesarios a nivel de comercio, derivados de las variaciones en la oferta (asociada a las diferencias en las productividades según los cambios de manejo) y de las variaciones en la demanda (asociada a las necesidades alimentarias según haya o no cambio de dieta). Así, en los escenarios en los que se realiza cambio de dieta se importan sólo algunos productos que no se pueden cultivar aquí, fundamentalmente especias, café, té, cacao, caucho y

productos del coco, así como las fibras sisal y yute, y en los escenarios sin cambio de dieta, se importa todo lo que se necesita para satisfacer la demanda actual de alimentos y de materias primas para la alimentación animal, manteniendo las exportaciones fijas en los escenarios F2F y ECO (lo que implica que se pueda necesitar incrementar las importaciones para aquellos productos en los que la disponibilidad por cambios de manejo se vea reducida) y limitando las exportaciones en el escenario AE sólo a aquellos productos de los que hay excedentes, evitando el doble comercio actual por el que un mismo producto (ej. tomates, patatas) se exporta e importa.



**Tabla 1. Principales características y asunciones de los escenarios estudiados.**

	Manejo actual		De la Granja a la Mesa		Ecológico		Agroecológico	
	Base	Base_SAA	F2F_Agri	F2F_SAA	ECO_Agri	Eco_SAA	AE_Agri	AE_SAA
Rendimiento			% ECO	% ECO	% ECO	% ECO	% ECO	% ECO
% Ecológico			25%	25%	100%	100%	100%	100%
Varietades cereal							Antiguas	Antiguas
Quema biomasa			% ECO	% ECO	% ECO	% ECO	0%	0%
Reemplazo barbecho							Sí	Sí
Cubiertas leñosas							100%	100%
Cubiertas intercultivo							100%	100%
Incorporación paja arroz							0%	0%
Incorporación fertilizante							Temprana	Temprana
Uso fertilizantes			80%	80%	% ECO	% ECO	% ECO	% ECO
Uso pesticidas			50%	50%	% ECO	% ECO	% ECO	% ECO
Uso combustible			% ECO	% ECO	% ECO	% ECO	ECO Eficientes	ECO Eficientes
Origen combustible							Biocombustible	Biocombustible
Origen electricidad							Solar	Solar
Uso pastos					50%	50%	50%	50%
Prioridad piensos							Priorizar	Priorizar
Eficiencia animal					Ajustada	Ajustada	Ajustada	Ajustada
Aditivos			% ECO	% ECO	% ECO	% ECO	% ECO	% ECO
Desperdicio piensos			100%	100%	33%	33%	33%	33%
Recuperación excreta pastoreo							20%	20%
Mejora pastoreo							Sí	Sí
Alimentos animales en dieta		Flexible		Flexible		Flexible		Flexible
Desperdicio alimentos		50%		50%		50%		50%
Consumo azúcar		50%		50%		50%		50%
Consumo verduras		200%		200%		200%		200%
Consumo legumbres		300%		300%		300%		300%
Importaciones		Excepciones	Flexible	Excepciones	Flexible	Excepciones	Flexible	Excepciones
Ajuste comercio		Grueso*	Grueso	Grueso	Grueso	Grueso	Neto+	Neto
Diets	Actual	Territorial	Actual	Territorial	Actual	Territorial	Actual	Territorial

Nota: \_ Agri = cambios en el manejo; SAA = cambios en el manejo y en el consumo \* Se importa lo que se necesita para ajustar a la demanda; las exportaciones se mantienen; + Se importa lo que se necesita para ajustar a la demanda; las exportaciones se limitan para evitar doble comercio.

### III. Definición de metodología y los límites del sistema

La metodología cuantitativa de este trabajo se basa en el análisis de ciclo de vida (ACV), que cuantifica de manera pormenorizada los impactos ambientales de un proceso productivo desde “la cuna a la tumba”. En nuestro caso, establecemos los límites del sistema “desde la cuna a la puerta de finca”, es decir, consideramos todos los impactos ambientales asociados a la producción de alimentos, hasta el momento en que los productos agropecuarios salen de las explotaciones. Esto incluye, por un lado, las emisiones y sumideros que tienen lugar en las fincas, como emisiones de  $\text{CH}_4$  entérico, emisiones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  del suelo, del manejo del estiércol y de la quema de biomasa, volatilización de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), lixiviado de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), consumo de energía y emisiones de  $\text{CO}_2$  por el uso de combustibles, o el balance de carbono en el suelo. Pero además se incluyen los procesos que tienen lugar “aguas arriba” de las fincas: extracción de las materias primas necesarias; refinado de las materias primas; manufactura (ej. producción de fertilizantes, pesticidas, maquinaria, plásticos y materiales para invernaderos, piensos, etc.); transporte hasta la granja; y mantenimiento o reparaciones. De la misma manera, se incluyen también los procesos “aguas abajo” que dependen de las actividades de la finca, en particular las emisiones indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  de la explotación. También se han contabilizado el balance de carbono en el suelo y en la biomasa asociado a los cambios de uso del suelo, es decir, emisiones de  $\text{CO}_2$  por deforestación y secuestro de C por abandono. Por otro lado, se excluyen los procesos que tienen lugar más allá de la finca, como el transporte de los productos agropecuarios (excepto piensos y semillas, que son insumos del sistema), el procesado, envasado, comercialización, hogares y gestión de residuos. En el caso de los productos alimentarios importados, los límites se amplían “de la cuna a la frontera” de manera

que se incorporan también los impactos del transporte internacional de alimentos. De esta manera, los impactos de todos los productos alimentarios son estudiados “de la cuna hasta que entran en la cadena agroalimentaria española”, ya sea esta entrada la finca o la frontera española. Los impactos asociados al transporte se han calculado empleando coeficientes por tonelada-kilómetro transportada obtenidos de Ecoinvent y teniendo en cuenta las distancias entre los países de origen y España, así como la redistribución de piensos entre provincias dentro de España, estimada a partir de la estimación a nivel provincial de la disponibilidad y la demanda de cada producto.

En el caso de los procesos que dan lugar a más de un producto, como por ejemplo la producción de grano y paja, o fruta y leña, o aceite y tortas de semillas, los impactos se han repartido entre los distintos coproductos siguiendo un criterio de asignación económica, empleando principalmente datos de precios obtenidos de FAOSTAT. La base de datos FAOSTAT también se ha empleado para calcular los destinos (alimentación humana, alimentación animal, semillas, procesado, otros usos) de cada producto primario, y para obtener los coeficientes técnicos de producción de coproductos a partir de cada producto primario. Posteriormente, los productos destinados a alimentación animal se han distribuido entre las distintas especies de animales, en base a la información proporcionada por las Bases zootécnicas<sup>53-58</sup> para el cálculo del balance alimentario de nitrógeno y fósforo. Por último, a partir de estos impactos calculados a nivel de producto vegetal primario, producto procesado y producto animal, se han calculado los impactos asociados a la dieta de la población española, una vez añadidos los impactos de los productos importados y descontados los impactos de los productos exportados y de los usos no alimentarios.

Para la caracterización biofísica de la agricultura española, que constituye la base del análisis de inventario, se han empleado los datos agregados recopilados a lo largo



de la última década por el Laboratorio de Historia de los Agroecosistemas<sup>59</sup> a partir de fuentes oficiales que ofrecen datos de producción, superficies de cultivo, cabaña ganadera, uso de insumos, etc., principalmente el Anuario de Estadística Agraria<sup>60</sup>, complementado con numerosas fuentes para obtener los coeficientes con los que se han calculado los distintos indicadores, como se describe en el siguiente apartado. El análisis provincial se ha basado también en datos oficiales combinado con otras fuentes<sup>23</sup>. La productividad de los pastizales en cada provincia se ha estimado mediante el modelo global NCEAS<sup>61</sup>.

Una de las características principales de este ACV es el grado de detalle alcanzado y la coherencia entre distintas escalas, integrando las aproximaciones “de abajo a arriba” con las “de arriba a abajo” mediante la combinación de la información a nivel de finca de diversas fuentes con datos de

actividad agregados oficiales. Para ello se han re-escalado las variables (como el uso de insumos) para que el resultado a nivel de producto sea consistente con el valor agregado. También se ha incluido una estimación de las pérdidas y el desperdicio en la cadena agroalimentaria, usando porcentajes por tipo de producto a nivel europeo<sup>51</sup>. En este trabajo, además, se ha estudiado de forma separada la producción ecológica y convencional, usando estadísticas de superficie por comunidad autónoma y tipo de cultivo de 2016<sup>62</sup>, y datos del manejo ecológico estimados a partir de entrevistas<sup>63,64</sup>, incluyendo rendimientos relativos respecto al convencional, y prácticas de manejo como el uso de insumos relativo, cubiertas vegetales o quema de biomasa. En el caso de la ganadería, se asume que los aditivos alimentarios no autorizados en ecológico solo se aplican en el manejo convencional.

## IV. Definición de indicadores

Con el fin de poder analizar y comparar los cortes temporales y escenarios proyectados se fijaron **6 indicadores**, los cuales a su vez se utilizan para evaluar el impacto de las prácticas relacionadas con la gestión de los sistemas agroalimentarios y su impacto en los ecosistemas y la sociedad: uso del territorio (huella territorial), uso de recursos no renovables (energía no renovable), impacto sobre el clima (huella de carbono), impacto sobre la calidad del agua (lixiviado de nitratos), impacto sobre la

calidad del aire (volatilización de amoníaco) e impactos sobre la calidad del suelo (contenido de carbono orgánico en el suelo). Los tres primeros impactos se analizan a nivel global, es decir, incluyendo los impactos en España pero también en terceros países de los que importamos alimentos para cubrir la demanda, mientras que los tres últimos se analizan solo a nivel doméstico, aunque desagregando provincialmente ya que sus efectos son principalmente locales o regionales.

### A. Uso del territorio

La tierra es un recurso limitado y esencial para la producción agroalimentaria. Desde una perspectiva histórica, y debido fundamentalmente al crecimiento de la población mundial y a la transición hacia dietas con un mayor contenido de productos animales y desacopladas del territorio, la tierra destinada a la producción agraria a nivel global ha aumentado de forma considerable, ocasionando importantes desajustes ecosistémicos y sociales a escala local y global. Además, se ha observado cómo el manejo agrario intensivo de la tierra afecta su fertilidad, aumentando la erosión y disminuyendo la

cantidad de materia orgánica y de nutrientes disponibles, agravándose la situación debido al cambio climático. Por estos motivos, se hace indispensable analizar la huella territorial en el sostenimiento del consumo de alimentos, donde se debe recordar que muchos países europeos, y en particular España, se caracterizan por haberse convertido en territorios importadores de tierra de terceros países a través de la importación de materias primas (ej. granos para alimentación animal) generando severas desigualdades e impactos a nivel global<sup>65</sup>.

Para el cálculo de la huella territorial se han tenido en cuenta los rendimientos de cada cultivo. El territorio ocupado por el barbecho se ha repartido entre todos los cultivos herbáceos (distinguiendo secano y regadío) proporcionalmente a su superficie cultivada. Para los cultivos importados, se ha tenido en cuenta el rendimiento de cada cultivo en el país de origen, usando la matriz de comercio detallada y la base de datos de producción

de cultivos de FAOSTAT. En el caso de los productos de la ganadería, se han empleado porcentajes de ingesta de biomasa de pastos y concentrados estimados para cada país y tipo de animal<sup>66</sup> y datos de productividad de pastos por región del mundo<sup>67</sup>. En el caso del uso del territorio de los productos importados con manejo ecológico, se han aplicado porcentajes de cambio respecto a los promedios de cultivos y de animales en convencional<sup>68</sup>.

## **B. Uso de recursos no renovables: Energía no renovable**

Como se discutió en la introducción, la dependencia de la energía no renovable del sistema agroalimentario industrializado lo hace altamente vulnerable a problemas de suministro o de precios en un contexto de agotamiento de estos recursos a nivel global, además de contribuir al cambio climático por el uso de combustibles fósiles.

El uso de energía no renovable se ha estimado empleando

coeficientes derivados de trabajos previos<sup>21,25,70</sup> y coeficientes obtenidos de Ecoinvent<sup>71</sup> y otras bases de datos de ACV, en el caso de los productos importados. Este indicador abarca tanto la energía no renovable directa, que incluye el uso de combustibles de origen fósil, ej. diésel y gasolina, y la energía no renovable indirecta, la empleada para producir y transportar los insumos, y que representa gran parte de la energía no renovable usada en el sistema.

## **C. Calidad del suelo: Carbono Orgánico del suelo**

El contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) es un indicador de fertilidad y tiene un importante papel en la adaptación al cambio climático, ya que mejora las propiedades físico-químicas del suelo, en especial las funciones hidráulicas como la capacidad de retención de agua<sup>34</sup>. También tiene una gran relevancia para la mitigación del cambio climático por su papel como almacén de carbono<sup>72,73</sup>, contribuyendo a retirar CO<sub>2</sub> de la atmósfera cuando se incrementa, o a emitir CO<sub>2</sub>, cuando disminuye. El nivel de COS es el resultado de un balance entre las entradas de carbono en forma de residuos de cosecha (raíces, paja, restos de poda) y aportes externos (estiércol, compost) y las salidas, que se ven alteradas por factores edafoclimáticos y por prácticas que favorecen su mineralización y, por lo tanto, disminuyen su disponibilidad como la labranza o la ausencia de cobertura del suelo.

En este trabajo empleamos el modelo HSOC<sup>74</sup> para modelar la dinámica de carbono en el suelo a nivel histórico y en los escenarios planteados. Este modelo distribuye la materia orgánica del suelo en 3 compartimentos, uno estático y dos dinámicos, incluyendo uno de mineralización lenta (humus) y otro rápida. Emplea datos climáticos mensuales y datos edáficos y de cobertura del suelo para simular las tasas de mineralización, que se combinan con datos de aportes de carbono estimados a partir de los rendimientos de cosecha y de coeficientes como el índice de cosecha, índice de raíces, proporción de materia seca en la materia fresca, y proporción de carbono en la materia seca. Los aportes de carbono del estiércol se calculan a partir de la excreta de nitrógeno del ganado, las pérdidas en el manejo del estiércol, y del ratio carbono:nitrógeno de los distintos tipos de estiércol. Mediante el cálculo del COS en

equilibrio (es decir, si el manejo y clima en un escenario determinado se prolongase indefinidamente) estimamos el indicador de "Calidad del suelo". Además, mediante el cálculo de la evolución del COS en un periodo de 100 años

incorporamos la variación del COS al balance de emisiones de GEI, expresada en términos de CO<sub>2</sub>e con un Potencial de Calentamiento Global de 100 años.



## D. Calidad del agua: Lixiviado de Nitrato

El lixiviado de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a los cuerpos de agua es una importante causa de deterioro de la calidad del agua, que puede hacerla no apta para consumo humano. El NO<sub>3</sub><sup>-</sup> que se lixivía en los suelos de cultivo hacia las aguas subterráneas se asocia a aplicaciones excesivas de nitrógeno al suelo. Esto se da generalmente con los fertilizantes de síntesis en agricultura intensiva, pero también en zonas de alta concentración ganadera, que generan grandes cantidades de deyecciones, principalmente gestionadas en formas de purines (estiércoles líquidos) aplicados a cultivos adyacentes a altas dosis, lo que provoca además desbalances de nutrientes en el suelo<sup>75</sup>.

El cálculo del lixiviado de nitrato se realiza a nivel de cultivo, provincia y tipo de riego a partir del balance de nitrógeno y de agua en el suelo. La metodología se detalla en trabajos anteriores<sup>23</sup>. El balance de nitrógeno anual se calcula a

partir de las entradas netas (fertilizantes orgánicos y sintéticos, fijación biológica, deposición, mineralización neta de la materia orgánica del suelo) y salidas (cosecha de producto y residuos, volatilización de amoníaco, y acumulación en la materia orgánica del suelo). Al valor resultante de restar las salidas a las entradas se le aplican unos porcentajes de desnitrificación en función del tipo de suelo y condiciones climáticas. Una vez descontada la desnitrificación, obtenemos una estimación del nitrato susceptible de ser lixiviado. Por otro lado, se calcula un balance mensual de agua en el suelo, teniendo en cuenta los datos climáticos mensuales, las características del suelo, los coeficientes de cultivo Kc, la profundidad de raíces, el ciclo de los cultivos, y el manejo de la vegetación arvense. Como resultado se obtiene la cantidad de agua que percola al subsuelo, lo que permite calcular la concentración de nitrato que hay en esa agua.

## E. Calidad del aire: Volatilización del Amoníaco

La volatilización de amoníaco provoca problemas de eutrofización y acidificación del suelo, impactando indirectamente en la biodiversidad<sup>76</sup>, pero también en la salud humana y la calidad de vida de la gente que habita en zonas con este tipo de contaminación. La contaminación por amoníaco procedente de la agricultura, asociada a la generación de partículas finas en el aire (PM2.5), es responsable de 12500 muertes al año en Estados Unidos<sup>77</sup>. Desde la entrada en vigor de la Directiva 2001/81/CE en 2010, España incumple esta normativa europea que establece un techo de emisión a las emisiones de amoníaco, habiendo recibido numerosas advertencias de la Comisión Europea. El amoníaco en la agricultura se genera por la gestión de estiércoles en las granjas (antes de su aplicación al suelo), las deyecciones del ganado en pastoreo, y la aplicación de fertilizantes nitrogenados en los campos agrícolas, que pueden ser sintéticos (principalmente urea y compuestos amoniacales) u orgánicos (principalmente purines en zonas de alta concentración ganadera). Por tanto, la mayor parte de las emisiones de amoníaco están

relacionadas con la producción ganadera, ya sea de manera directa o indirecta.

El amoníaco generado en las instalaciones ganaderas se ha estimado empleando coeficientes tomados del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera<sup>78</sup>. Se han empleado los mismos coeficientes para todos los escenarios, es decir, no se han asumido cambios en las prácticas de gestión del estiércol excretado en estabulación. En cuanto al amoníaco volatilizado a partir de deyecciones ganaderas y fertilizantes orgánicos y sintéticos, el cálculo se realiza a nivel de cultivo (o pasto), provincia y tipo de riego a partir de los aportes de nitrógeno y las condiciones climáticas, empleando el modelo MANNER<sup>76,79</sup>. La metodología se detalla en trabajos anteriores<sup>23</sup>. En resumen, MANNER es un modelo de procesos que principalmente tiene en cuenta la temperatura, velocidad del viento, pH del suelo, tipo y dosis de fertilizante sintético, tipo de estiércol, método de aplicación del fertilizante, y el tiempo desde la aplicación del fertilizante hasta su incorporación al suelo.

## F. Cambio Climático: Emisiones de gases de efecto invernadero

Se calcula que el sistema agroalimentario emite un tercio del total de las emisiones de GEI globales, de las cuales, entre el 9% al 14% provienen de actividades relacionadas con el cultivo y la ganadería en su fase productiva, entre el 5% al 14% de cambios en el uso de la tierra, mientras que las actividades realizadas más allá de los límites de la granja<sup>1</sup> representan entre el 5% y el 10% de las emisiones<sup>3</sup>. En conjunto, las emisiones de GEI se han casi doblado durante las últimas seis décadas debido principalmente al incremento de la ganadería, del uso intensivo de fertilizantes sintéticos y el cultivo de arroz<sup>3</sup>. El crecimiento de las emisiones ha sido aún mayor en las fases de la cadena agroalimentaria posteriores a la producción agropecuaria<sup>80,81</sup>, debido al mayor procesamiento y distancias recorridas por los alimentos, y mayor generación de residuos a causa del desperdicio.

En este trabajo, las emisiones de GEI se han estimado combinando distintas metodologías. En el caso de la

producción de insumos, que en su mayoría se deben al uso de combustibles fósiles, y para los productos importados, se han empleado coeficientes de bases de datos de ACV como Ecoinvent, de manera similar al procedimiento aplicado para calcular el consumo de energía no renovable explicado en el apartado B. En el caso de las emisiones del suelo directas de N<sub>2</sub>O, se han empleado factores de emisión específicos del clima mediterráneo obtenidos de meta-análisis<sup>1</sup>, combinando factores por tipo de riego con factores por tipo de fertilizante según se describe en trabajos anteriores<sup>23</sup>. Las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O se han estimado a partir de nuestra propia estimación de la volatilización de amoníaco explicada en el apartado E y de lixiviado de nitrato explicada en el apartado D. En el caso de las emisiones de CH<sub>4</sub> de los arrozales y de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de la quema de biomasa, se ha empleado la metodología Tier 1 del IPCC<sup>82</sup>. Para las emisiones o sumideros de CO<sub>2</sub> asociados a los cambios en el contenido de carbono en el suelo se ha empleado el modelo HSOC, según se explica

en el apartado C. Para el secuestro de carbono en los pastizales, se han usado datos de espacializados obtenidos de un estudio de modelización global<sup>83</sup> que concuerdan bien con los datos empíricos observados en la dehesa<sup>39</sup>. Para el secuestro adicional en pastizales por la mejora del pastoreo en los escenarios agroecológicos se han empleado datos derivados de meta-análisis<sup>84</sup> y escalados a un horizonte temporal de 100 años. Las emisiones de la fermentación entérica, en el caso del bovino y el ovino, se han estimado mediante la metodología Tier 2 del IPCC, teniendo en cuenta la composición de los alimentos ingeridos por cada clase de edad y etapa productiva de cada especie animal. En el resto de animales se ha empleado la metodología Tier 1. Para el manejo del estiércol, al igual que se hizo en el caso del amoníaco explicado en el apartado E, se han empleado los factores del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera<sup>78</sup>. El secuestro de carbono en zonas agrícolas abandonadas en España se ha estimado a partir de nuestros propios datos de superficies históricas de usos del suelo provinciales en combinación con datos del crecimiento de la biomasa en

zonas forestales obtenidos a partir del Inventario Forestal Nacional, también a nivel provincial<sup>85</sup>. En el caso de los cambios en los stocks de carbono por cambio de uso del suelo asociados a la expansión o contracción de las superficie cultivada o de pastos en terceros países, por los cambios en la importación de productos en los distintos escenarios, se ha procedido de manera distinta en el caso de secuestro por abandono que de la emisión por deforestación. En el caso del abandono, se ha asumido que el ecosistema recuperaría un 90% de su stock de carbono potencial en 100 años, así que para calcular la tasa anual se ha asumido una acumulación lineal de carbono durante ese periodo. Los datos de secuestro potencial se han tomado de la base de datos geoespacializada global LUH2<sup>86</sup> y la distribución espacial de los cultivos en cada país<sup>87</sup>. En cuanto a las emisiones por deforestación debido a la expansión de superficie agraria en terceros países, se han empleado los stocks reales en 2015 (en lugar de los potenciales), obtenidos de la misma fuente<sup>86</sup> y se ha amortizado la pérdida de stock en 100 años para equipararlo al resto de componentes del balance.



# 4

## RESULTADOS: Análisis de los escenarios, dietas resultantes e impactos medioambientales

En este apartado describimos en primer lugar la producción, importación, exportación y la ingesta de alimentos resultante de los escenarios, para luego analizar los impactos asociados.

### 4.1 Producción, comercio exterior y disponibilidad de grupos de alimentos y nutrientes

En los escenarios contemplados en el presente trabajo se ha realizado un cálculo y estimación de la ingesta de alimentos por persona y día, una vez descontado el desperdicio, para poder determinar si los escenarios desarrollados cumplen con el principal objetivo que es garantizar la seguridad alimentaria de la población. La ingesta se calcula a partir de la disponibilidad total de alimentos, definida como producción+importación-exportación; la disponibilidad neta de alimentos, una vez descontada la parte no comestible de los alimentos; a la que finalmente se le descuenta el desperdicio alimentario. Presentamos los resultados de producción, importaciones y exportaciones para los escenarios donde los cambios

con respecto al escenario base son más relevantes (ECO\_Agri y AE\_SAA), así como los resultados de ingesta de alimentos (por grupos de alimentos) y nutrientes. Dado que las diferencias entre los escenarios en los que no se produce un cambio de dieta (Agri) con respecto al período actual (base) son muy pequeñas, presentamos los resultados de ingesta para los escenarios con cambio de dieta (SAA), y se comparan con los datos del período actual. Los datos presentados son medios, sin diferenciar por tipo de población (sexo, edad o condición), con lo que han de ser considerados como tendencias para analizar, previo al estudio de impactos, si la disponibilidad de nutrientes resultante en cada uno de los escenarios es suficiente o no.



**Tabla 2. Producción y comercio exterior de productos agropecuarios primarios y procesados**

	Producción					Importaciones					Exportaciones				
	Base	F2F_SAA		AE_SAA		Base	F2F_SAA		AE_SAA		Base	F2F_SAA		AE_SAA	
Cereales grano	21,3	19,7	-8%	14,2	-33%	15,8	0,0	-100%	0,0	-100%	4,7	0,2	-96%	0,0	-100%
Leguminosas grano	0,5	0,5	0%	3,4	536%	0,3	0,0	-100%	0,0	-100%	0,1	0,0	-100%	0,0	-100%
Raíces y tubérculos	2,3	2,2	-5%	3,1	36%	1,6	0,0	-100%	0,0	-100%	0,5	0,0	-95%	0,4	-29%
Fibras	0,1	0,1	-6%	0,1	-26%	0,3	0,2	-29%	0,2	-31%	0,1	0,0	-66%	0,0	-95%
Forraje verde	32,2	30,2	-6%	23,6	-27%	0,3	0,0	-100%	0,0	-100%	1,0	0,0	-95%	0,0	-100%
Cultivos azucareros	3,3	3,1	-7%	3,8	14%	0,0	0,0		0,0		0,0	0,0		0,0	
Oleaginosas	1,1	1,0	-6%	0,8	-27%	4,2	0,0	-100%	0,0	-100%	0,3	0,0	-100%	0,0	-100%
Hortícolas	14,9	14,1	-5%	16,2	9%	1,2	0,0	-100%	0,0	-100%	8,7	2,5	-71%	4,5	-48%
Aceitunas	7,0	6,8	-3%	6,0	-14%	0,0	0,0	-100%	0,0	-100%	0,7	0,5	-32%	0,0	-100%
Uva	6,0	5,9	-1%	5,5	-8%	0,1	0,0	-100%	0,0	-100%	0,6	0,4	-25%	0,0	-99%
Frutos secos	0,4	0,4	-1%	0,4	-8%	0,4	0,0	-100%	0,0	-100%	0,5	0,1	-86%	0,0	-91%
Fruta	11,2	10,3	-8%	7,0	-37%	2,0	0,0	-100%	0,0	-100%	7,6	5,7	-25%	2,5	-67%
Espesantes y estimulantes	0,04	0,04	-6%	0,03	-25%	0,6	0,5	-19%	0,0	-47%	0,2	0,2	-25%	0,0	-100%
Paja	7,3	6,8	-7%	9,7	33%	0,0	0,0		0,3		0,2	0,0	-100%	0,0	-100%
Leña	7,2	7,0	-3%	8,1	13%	0,0	0,0		0,0		0,0	0,0		0,0	
Aceites	2,8	1,8	-35%	1,6	-41%	3,0	0,0	-100%	0,0	-100%	2,1	0,4	-80%	0,3	-88%
Azúcar	0,8	0,7	-10%	0,8	-5%	1,7	0,0	-100%	0,0	-100%	0,8	0,0	-100%	0,0	-100%
Tortas y DDGS*	4,7	1,6	-66%	4,1	-13%	3,7	0,0	-100%	0,0	-100%	0,5	0,0	-100%	0,0	-100%
Alcohol	7,8	7,8	0%	9,2	18%	0,9	0,0	-100%	0,0	-100%	3,0	2,9	-2%	2,9	-2%
Carne	6,4	3,3	-48%	2,7	-58%	0,6	0,0	-100%	0,0	-100%	2,3	0,0	-100%	0,0	-100%
Lácteos	8,1	4,3	-47%	3,9	-51%	2,3	0,0	-100%	0,0	-100%	0,9	0,0	-100%	0,0	-100%
Huevos	0,8	0,3	-60%	0,3	-62%	0,0	0,0	-100%	0,0	-100%	0,1	0,0	-100%	0,0	-100%

Comparativa entre el Escenario Base y dos escenarios seleccionados, expresados en valores absolutos (millones de toneladas de materia fresca) y valores relativos respecto al escenario base (porcentajes). \* DDGS = Dry distilled grain solids, residuo rico en proteína de la industria cervecera y de la producción de etanol a partir de cereales

Con respecto a la producción (Gráfico 1 y Tabla 2), observamos un incremento importante en la producción total de cereales desde la época preindustrial (6,5Mton) hasta la actual (21Mton), así como en la de verduras y hortalizas (2 vs 15) y cultivos azucareros (0,6 vs 3). En los escenarios ECO y AE observamos una reducción de aproximadamente un tercio en la cantidad de cereales (14Mton) y frutas (3,5, excluyendo los cítricos) frente al escenario base (21 Mton para los cereales y 5 para las frutas) y en un cuarto frente al escenario F2F (19,7 Mton para los cereales y 4,2 para las frutas). La producción de semillas oleaginosas también se reduce en un cuarto en estos escenarios (0,8 Mton) frente a los escenarios F2F y base (1 y 1,1, respectivamente). La mayor reducción en la producción total la encontramos en los cítricos, donde en los escenarios AE y ECO (3,9Mton) es un 58% de la producción actual (6,6Mton) y un 65%

de la del escenario F2F (6,0). Al contrario, para algunos cultivos el escenario AE da una mayor producción total, fundamentalmente porque se dedica una mayor cantidad de superficie de cultivo a los mismos. Este es el caso de la producción de leguminosas, que se multiplica por 6 en el escenario AE frente a los otros tres escenarios (3,4 vs. 0,5Mton), así como la de verduras y hortalizas y tubérculos y raíces, si bien aquí las diferencias no son tan importantes. En el caso de los cultivos azucareros, el escenario ECO es el que aporta menor producción (2,4 Mton) frente a los escenarios AE (3,8), F2F (3,1) y base (3,3). Finalmente, en lo que se refiere al pasto, asumiendo un consumo del 50% de la biomasa producida para permitir la regeneración del mismo, tanto el escenario AE como el ECO se consume mayor cantidad que los escenarios F2F, base y preEU (20,8 vs. 14,7 vs 11,3, respectivamente), los dos últimos

calculados a partir de los datos de las bases zootécnicas. Esto es importante pues en los escenarios AE y ECO se produce un incremento de la ganadería extensiva y se muestra el potencial existente para incrementar el consumo de pasto en el territorio español con respecto al consumo actual.

En cuanto al comercio exterior, los datos de importaciones de la Tabla 2 reflejan las asunciones realizadas, es decir, en los escenarios SAA solo se mantienen las importaciones de la mayoría de especias y estimulantes (café, té y cacao), pero se eliminan las importaciones del resto de productos, destacando por su volumen los cereales (sobre todo maíz y trigo), las oleaginosas (sobre todo soja), las tortas y destilados, y el aceite. En cuanto a las exportaciones, en los escenarios con cambios en la dieta se ven condicionadas por los cambios en la producción y en el consumo. Así, se producen importantes reducciones en los principales productos de exportación del país. En el caso de los hortícolas, a pesar del incremento en el consumo, la reducción de las exportaciones es de menos

de la mitad, debido al aumento de la superficie cultivada. En el caso del aceite de oliva, el suministro doméstico tiene que suplir no solo la reducción de la producción, que es muy moderada, sino también a los aceites de otros tipos (sobre todo girasol) que dejan de importarse, por lo que la exportación se ve muy reducida. En el caso de los productos de origen animal, las reducciones en las exportaciones son del 100% porque se ha asumido que toda la producción se consume localmente, una asunción que podría revisarse si se plantease una dieta con menor consumo de productos de origen animal. En relación a la composición de la dieta, observamos cambios importantes en el consumo de los diferentes grupos de alimentos que reflejan la combinación de los condicionantes biofísicos con las asunciones realizadas respecto a los cambios en la dieta. En términos de consumo de materia fresca (g/d, Tabla 3), se dobla el consumo de verduras y hortalizas; se triplica el consumo de legumbres en el escenario AE\_SAA (pasando de 13 g/d a 40g/d), y sólo se consigue doblar en el resto de escenarios con cambios en la dieta, dado que la producción local no es suficiente para triplicar el consumo.

**Tabla 3. Ingesta diaria de materia fresca per cápita y porcentaje de cambio**

	Base	Base_SAA		F2F_SAA		Eco_SAA		AE_SAA	
	g/cap día	g/cap día	% cambio						
Carne vacuno	27,2	27,5	1%	27,2	0%	21,6	-21%	25,1	-8%
Carne ovino y caprino	3,3	3,2	-4%	3,1	-7%	2,6	-23%	5,7	71%
Carne cerdo	111,7	117,5	5%	105,3	-6%	48,9	-56%	74,1	-34%
Carne pollo	46,8	23,8	-49%	21,4	-54%	10,0	-79%	20,3	-57%
Carne rumiantes	30,5	30,7	1%	30,3	-1%	24,2	-21%	30,8	1%
Carne monogástricos	158,5	141,3	-11%	126,7	-20%	58,9	-63%	94,5	-40%
Carne y vísceras, total	201,7	188,3	-7%	172,2	-15%	92,7	-54%	138,4	-31%
Leche vacuno	423,5	200,4	-53%	194,6	-54%	103,0	-76%	146,8	-65%
Leche ovino y caprino	64,2	38,8	-40%	37,8	-41%	31,4	-51%	68,9	7%
Lácteos total	490,4	240,6	-51%	233,7	-52%	135,1	-72%	216,9	-56%
Huevos	27,7	16,1	-42%	14,6	-47%	6,9	-75%	13,7	-50%
Pescado	37,3	31,0	-17%	31,0	-17%	31,0	-17%	31,0	-17%
Crustáceos	3,3	0,4	-89%	0,4	-89%	0,4	-89%	0,4	-89%
Moluscos	8,0	4,8	-40%	4,8	-40%	4,8	-40%	4,8	-40%
Pescado y marisco, total	48,6	36,2	-26%	36,2	-26%	36,2	-26%	36,2	-26%
Legumbres	13,3	27,2	104%	27,2	104%	27,2	104%	40,1	201%
Verduras	221,9	463,2	109%	457,4	106%	439,7	98%	460,2	107%
Azúcar	78,9	39,6	-50%	39,6	-50%	32,8	-58%	39,6	-50%



En conjunto, los criterios considerados llevan a reducciones considerables en el consumo de carne de animales monogástricos (cerdo y pollo) y de leche, observándose las mayores reducciones en el escenario ECO\_SAA. Hay que destacar que los resultados mostrados en la tabla 2 muestran los cambios en el consumo, que son distintos a los cambios en la producción sobre todo en aquellos productos con un elevado comercio exterior. En estos escenarios (SAA) se tendrían que eliminar las exportaciones de estos productos que se usarían para consumo interno, particularmente de cerdo. En este caso, por ejemplo, el descenso en la producción es del 65% en el escenario AE\_SAA y del 77% en el ECO\_SAA, pero las reducciones en el consumo son menores (34% y 56%, respectivamente) porque en estos escenarios se dejaría de exportar carne de cerdo (en el escenario Base se exporta un 40% de la producción). La ingesta de carne de rumiantes, sin embargo, apenas se vería afectada por el mejor aprovechamiento de los recursos del territorio (pastizales y residuos de cosecha). Por otro lado, el consumo de pescado y marisco tendría que reducirse en una cuarta parte, con grandes diferencias entre tipos de productos, siendo especialmente

relevante la reducción drástica que sería necesaria en el caso de los crustáceos, de casi el 90%. Este último dato es especialmente relevante, pues dicha reducción se refiere particularmente al cese de importaciones de gambas y camarones procedentes de terceros países y cuyo impacto ambiental ha sido ampliamente descrito<sup>120</sup>.

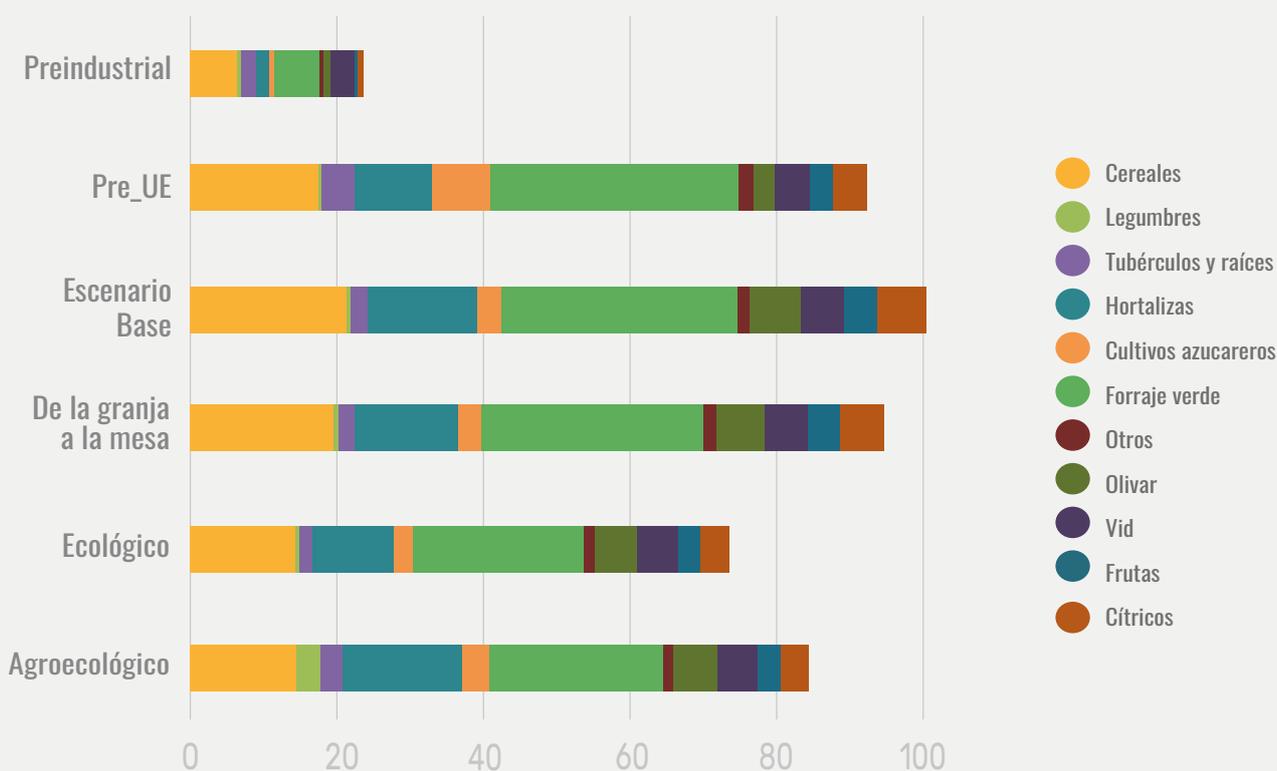
En relación a la ingesta de nutrientes, la primera observación que realizamos, comparando con los datos de referencia deseables a partir de las recomendaciones dietéticas (tabla 3), es que a nivel absoluto todas las dietas son hipercalóricas e hiperproteicas. En términos relativos y en relación al equilibrio de la dieta existe cierto desequilibrio; así, si el consumo de carbohidratos debe oscilar entre un 50-55% del ingreso energético total, el de grasa un 30-35% y de proteínas entre un 10-15%, en las dietas actuales y escenarios obtenemos que los carbohidratos suponen entre el 40% (Base) y el 43% (ECO) y los lípidos entre el 37 (AE\_SAA) y 39% (base). La proteína sí estaría equilibrada en relación al consumo total de energía consumida (entre 11% en ECO\_SAA y 12% AE\_SAA).

**Tabla 4. Ingesta de nutrientes de la población española en los escenarios estudiados**

	PreUE	Base	Base_SAA	F2F_SAA	ECO_SAA	AE_SAA	RDA*
Energía (kcal)	3116	3154	2947	2901	2590	2864	2000-2200
Materia Fresca (g)	1867	1780	1732	1704	1504	1682	
Carbohidratos (g)	312	317	295	294	281	301	
Lípidos (g)	129	136	123	121	107	117	
Proteína (g)	96	97	90	87	73	86	46-63

\* Recommended Daily Allowances. Datos obtenidos de RDA 2001,2005 y 2011 y del Consenso de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria en el 2001: [https://www2.uned.es/pea-nutricion-y-dietetica-l/guia/guia\\_nutricion/recomendaciones\\_rda.htm?ca=n0](https://www2.uned.es/pea-nutricion-y-dietetica-l/guia/guia_nutricion/recomendaciones_rda.htm?ca=n0)

**Gráfico 1. Producción según tipos de cultivo (en Mton de materia fresca)**



"Otros" incluye oleaginosas, frutos secos, fibras y otros.

## 4.2 Impactos ambientales a nivel global

### A. Usos del territorio: Huella territorial

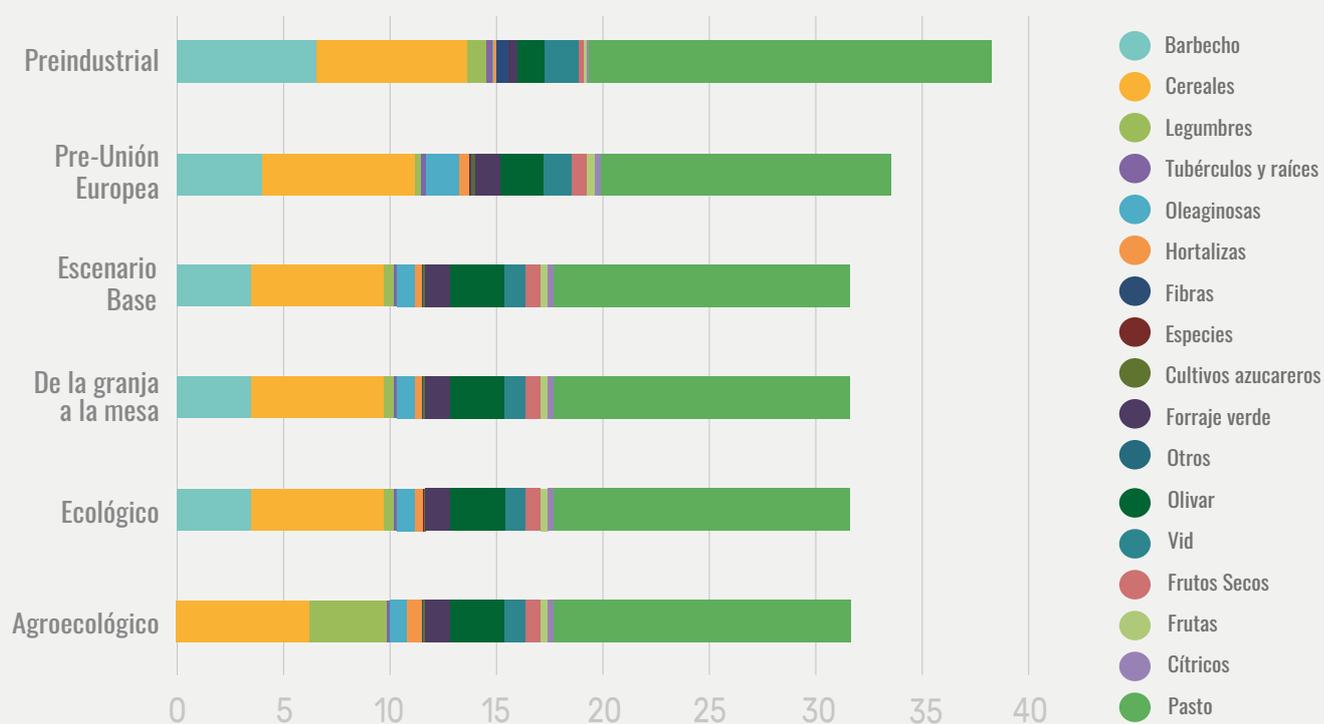
En este trabajo los datos de superficie agrícola útil (SAU) cultivada se muestran de dos formas diferentes. Por un lado, analizamos la SAU nacional y su distribución para la producción de los diferentes cultivos, independientemente del destino de los mismos (por ejemplo, el maíz puede ser para consumo humano directo, para agrocombustibles o grano para pienso animal), lo que nos permite analizar cómo ha cambiado la agricultura española en las últimas décadas. Al asumir una SAU nacional estable en los escenarios proyectados, no existen diferencias entre los escenarios de cambio de manejo (Agri) y los que tienen enfoque de sistema agroalimentario (SAA). Por otro lado, analizamos el uso del suelo conforme al suministro interno de alimentos, donde lo que estimamos es la tierra necesaria (nacional e importada) para satisfacer la demanda real de alimentos en cada uno de los escenarios. Así, productos como el maíz que puede tener doble uso, si su destino

es grano para pienso quedaría integrado en el producto animal que hubiera utilizado dicho maíz (leche, carne o huevos) y si es para consumo humano queda integrado en cultivos. Desde este enfoque, si no se realizan cambios en el consumo y dado que la SAU nacional asumimos que se mantiene constante, las necesidades para cubrir la demanda se satisfacen a través de la importación de los alimentos y materias primas necesarias, mientras que en los escenarios con cambios en la dieta se reduce la importación de alimentos. En resumen, se ha contabilizado tanto el territorio utilizado en España, incluyendo superficie cultivada (que incluye barbecho) y de pastos, como el territorio "virtual" incorporado en el comercio exterior, tanto en las importaciones (asumiendo los rendimientos de los países de los que importamos) como en las exportaciones (asumiendo los rendimientos medios en España o de los escenarios correspondientes).

A nivel absoluto, la superficie cultivada en España ha sufrido cambios moderados desde los niveles preindustriales oscilando entre las 17,6 y 20 millones de hectáreas (MHa), a las que habría que añadir una superficie dedicada a pasto que ha oscilado entre las 13,8 MHa actuales y las 18,5MHa en preindustrial y una superficie de barbecho que oscila entre las 3,5 MHa actuales y 6,4 Mh en preindustrial. En general se observa en las últimas décadas un proceso de abandono de superficie agraria pasando de 37,3MHa

en el período preindustrial a 31,3Mha en la actualidad (Gráfico 2). Estos datos nos indican que, si bien en los escenarios proyectados hemos asumido una SAU estable equivalente a la actual, si fuera necesario, existe margen para incrementar la SAU total recuperando algunas de las tierras de cultivo y pastos que han sido abandonadas (6MHa con respecto al período preindustrial), de forma que pudieran ser manejadas de forma sostenible, por ejemplo, mediante sistemas agrosilvopastoriles.

**Gráfico 2. Superficie agraria en España por tipos de cultivo en los escenarios estudiados (MHa)**



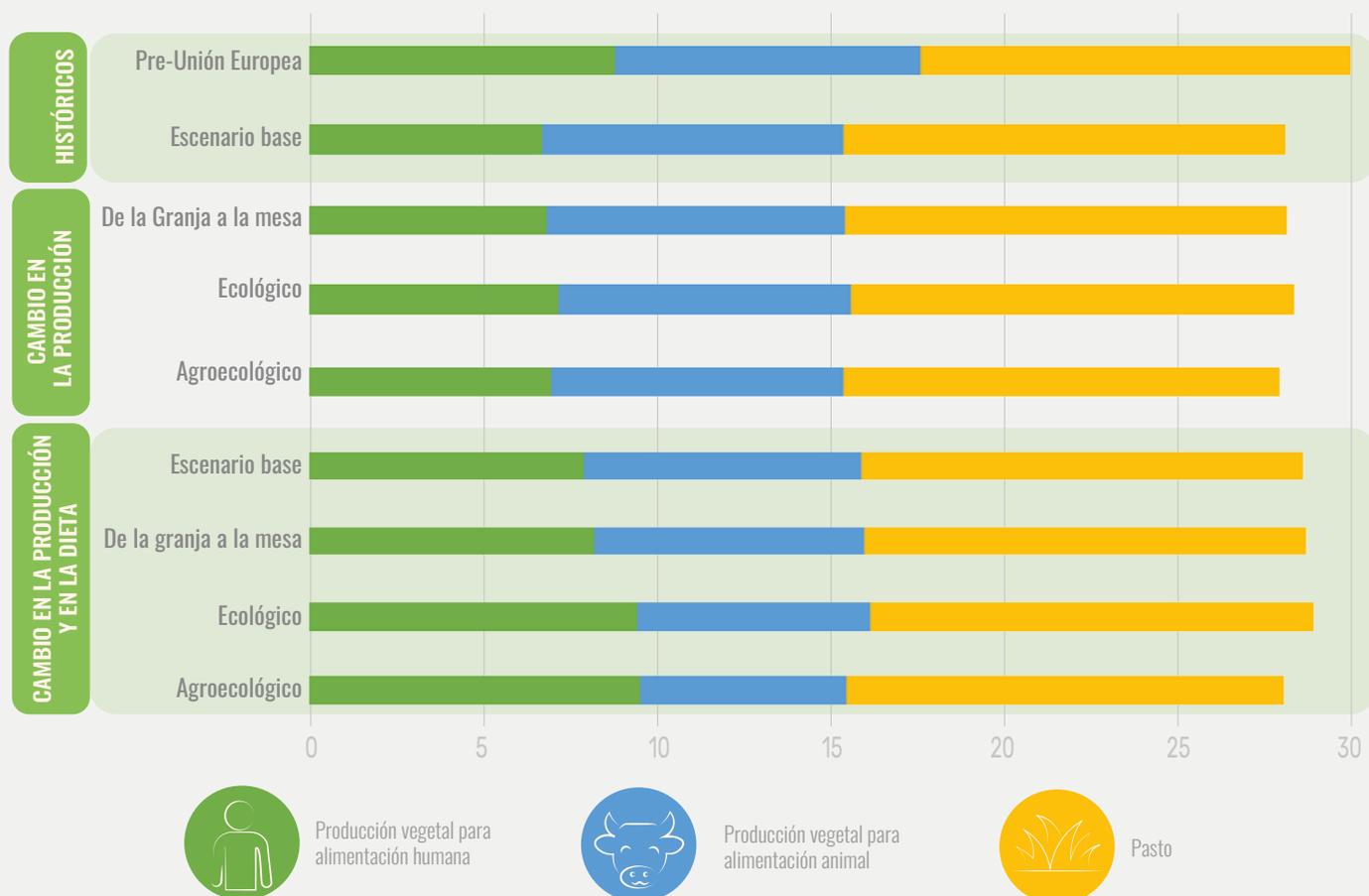
A nivel de distribución de los cultivos en los diferentes escenarios analizados, asumiendo una SAU estable en torno a las 17,6 MHa para el cultivo y de 13,8MHa para el pasto, las mayores diferencias se producen en el escenario agroecológico, en el que desaparece el barbecho y esas 3,5 MHa se dedican a otros cultivos, fundamentalmente leguminosas en el barbecho de secano, y remolacha, patata y hortalizas en el barbecho de regadío. Así, observamos que se multiplica por 7,4 la superficie dedicada al cultivo de leguminosas con respecto a la situación actual y el resto de escenarios (3,5 vs. 0,47 Mha), por 2 la superficie dedicada a tubérculos (0,14 vs 0,07), por 1,75 la de vegetales y hortalizas (0,7 vs. 0,4) y por 1,5 la de cultivos azucareros (0,06 vs. 0,04), fundamentalmente debido a la reducción de las importaciones de azúcar de caña y la búsqueda de mayor autosuficiencia.

Si analizamos la superficie dedicada a la producción en España conforme al tipo de producción observamos que en los escenarios en que no hay cambio de dieta, la mayor parte de la tierra se dedica para la producción animal, ya sea de forma directa en forma de pasto, o indirecta en cultivos que van destinados a la elaboración de piensos. Así observamos que las Ha cultivadas para la producción vegetal para consumo humano oscilan entre las 6,8MHa actuales y las 9,6 del escenario AE\_SAA. En el caso de la producción vegetal para consumo animal los datos oscilan entre las 8,8MHa del período preUE y las 6MHa del escenario AE\_SAA (Gráfica 3). También cabe destacar que en los escenarios en los que no hay un cambio en la dieta, la cantidad de suelo dedicado a la producción vegetal con destino a alimentación animal es mayor que el dedicado

a la producción vegetal para consumo humano mientras que esta tendencia se invierte en todos los escenarios SAA. Así por ejemplo, en el escenario F2F\_Agri se dedican 8,6MHa para cultivos para alimentación animal y 6,9 para

alimentación humana, mientras que en el escenario AE\_SAA se dedican 6MHa a cultivos para alimentación animal y 9,6 para consumo humano.

**Gráfico 3. Superficie cultivada en España por tipos de cultivo (en millones de hectáreas)**



En relación a la cantidad total de suelo utilizado para el suministro interno de alimentos, observamos como sólo los escenarios con enfoque de sistema alimentario (SAA), es decir, con un cambio de dieta y reducción del desperdicio y pérdidas alimentarias, es posible garantizar un suministro que no dependa en gran medida del uso del suelo en otros territorios. Los datos de superficie cultivada nacionales son menores que las 31,3MHa obtenidas en la producción pues aquí sólo estamos teniendo en cuenta la parte producida que va a alimentación de la población española, descontando por ejemplo cultivos agrícolas con destino industrial, o producciones exportadas. Así, observamos que las hectáreas nacionales utilizadas oscilan

entre 25MHa (Base, AE\_Agri, F2F\_Agri) y 28MHa (PreUE); y las importadas entre 20MHa (ECO\_Agri) y menos de 1MHa (todos los escenarios SAA). Entre los períodos preUE y el actual (Base) la mayor diferencia la encontramos en el número de hectáreas dedicadas a la alimentación animal (importadas y nacionales). En ambos casos se dedican en torno a las 21,4MHa nacionales a la producción animal, mientras que las tierras importadas para este fin se incrementan, pasando de 4,4MHa en preUE a 6,8MHa importadas actuales. Las tierras nacionales dedicadas a la producción vegetal entre ambos períodos se reducen de 6,9 a 3,8 MHa y se incrementan las hectáreas importadas, pasando de 1,6 a 2,4MHa. Con respecto a los escenarios,

observamos que el escenario ECO\_Agri el número de Ha importadas crece de forma alarmante, hasta las 20MHa, fundamentalmente destinada a la producción animal (16,2MHa). De la tierra importada para la alimentación animal, la mayoría es para cultivo y en menor medida en forma de pasto, oscilando entre las aproximadamente 5MHa (Base, F2F\_Agri, AE\_Agri) y 10 MHa para cultivo (ECO\_Agri) y las 0,9 (AE\_Agri) y 6 (ECO\_Agri) para pasto.

En las tierras nacionales esta relación se invierte y la tierra dedicada a la alimentación animal lo es fundamentalmente en forma de pasto, que en nuestro contexto se comportan en su mayoría como ecosistemas seminaturales. Todos los escenarios en los que hay un cambio de dieta reducen drásticamente la importación de tierras, pasando a ser cero para la producción animal, y oscilando entre los 0,5 y 0,7MHa para la producción vegetal.

**Gráfico 4. Huella territorial (MHa) dedicada al consumo alimentario de la población española en los escenarios estudiado**





## B. Uso de energía no renovable

Como en el caso del suelo, estimamos por un lado la ENR de la producción vegetal y qué partes del proceso productivo requieren más energía, y por otro la ENR del suministro interno de alimentos, que incluye la producción vegetal y animal dedicada a la alimentación, tanto nacional como importada, en este caso analizando las diferentes necesidades energéticas de los componentes de nuestro consumo de alimentos.

### Cambios en la ENR de los cultivos

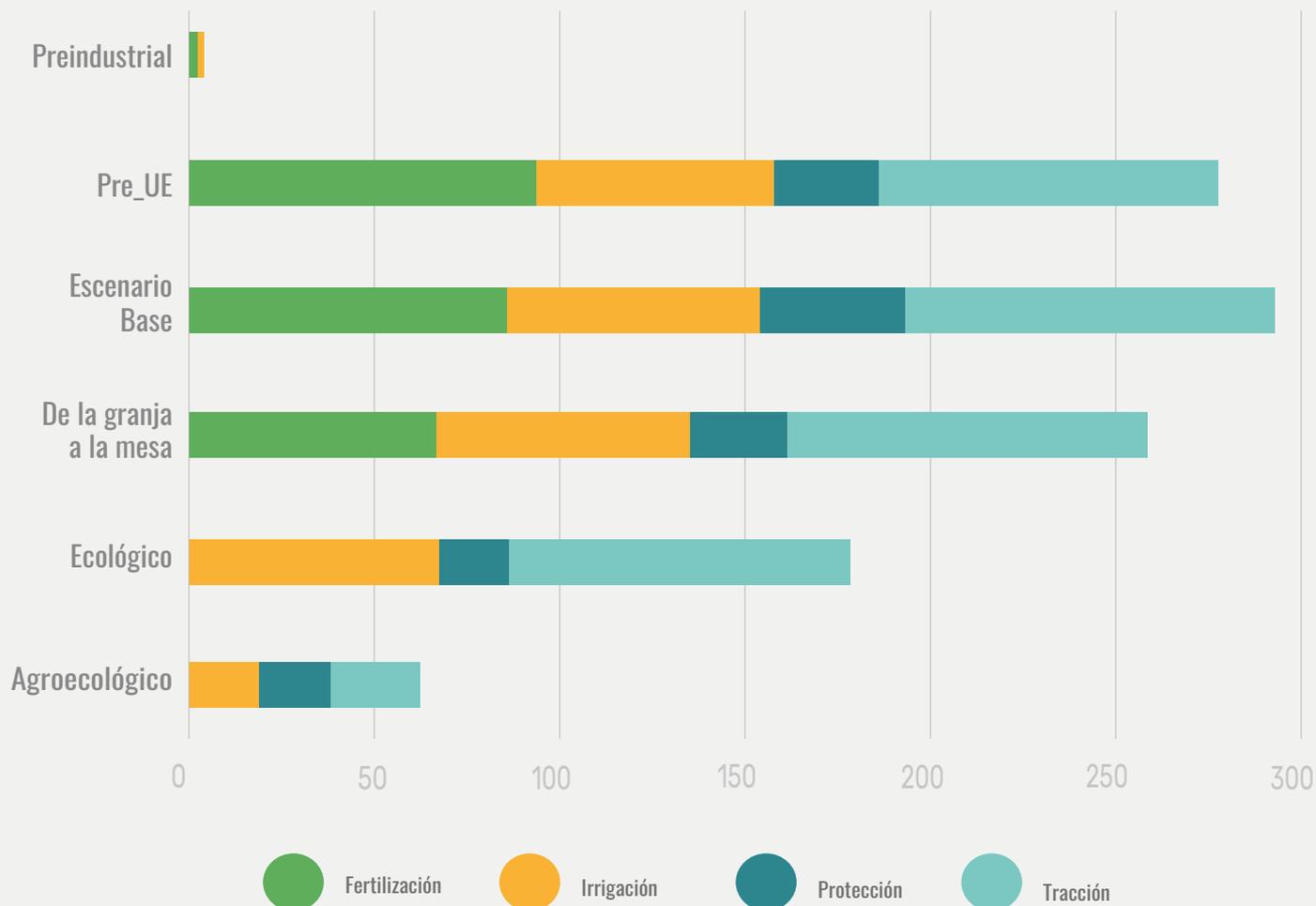
En el caso de la producción vegetal, durante el periodo preindustrial (Grafico 5) se consume muy poca energía no renovable (ENR), con un total de 4,7 Petajulios (PJ), predominando su uso en la fertilización (3,2 PJ; 67%), y destacando la que se emplea en la obtención de fósforo (2,2 PJ) y para el riego (1,2PJ), donde destaca fundamentalmente la ENR del sistema de riego (0,74PJ). La tracción en esta época se caracteriza por maquinaria dedicada a la labranza<sup>70</sup>.

En el periodo pre-UE aumenta de manera muy acusada el consumo de ENR en todas las categorías, alcanzando los 277 PJ. Destaca la fertilización (93,8 PJ; 34% del total), donde el nitrógeno sintético por sí solo representa 75,5 PJ. La tracción (91,7 PJ, 33%) es la segunda categoría en importancia, la cual pasa de ser una actividad basada en energía renovable (fuerza de trabajo animal) a emplearse maquinaria, donde destacan los tractores, que dependen de manera directa de combustibles fósiles para su funcionamiento, consumiendo 58,1 PJ en la combustión y 20,5 en la maquinaria. El riego aumenta

considerablemente el consumo de ENR, demandando 63,8 PJ (23%), de los cuales 43,6 PJ se consumen en forma de electricidad. Concretamente, la implantación de infraestructuras de riego que buscan una mayor eficiencia en el uso del agua y la explotación de recursos hídricos menos accesibles que en el periodo preindustrial aumentan la demanda total de ENR<sup>21</sup>. Se observa también cómo aumenta la ENR consumida en la protección de los cultivos (28,1 PJ), sobre todo por los invernaderos (14,9 PJ) y el uso de pesticidas (12PJ).

En el periodo actual (base), la tracción pasa a ocupar el primer puesto como consumidora de ENR (98,8 PJ; 34%), superando a la fertilización (85,7 PJ; 29%), debido a una mayor eficiencia en la síntesis y uso de fertilizantes respecto al periodo pre-UE. El caso de la protección contrasta con esta situación, ya que se observa un aumento de la ENR hasta los 39,8 PJ (14%), debido fundamentalmente al aumento paulatino de los requerimientos energéticos para la síntesis de los pesticidas (26,8PJ), destacando la energía incorporada que requiere la materia prima por sí sola que crece considerablemente en el periodo estudiado<sup>25</sup>. En general el consumo de energía se mantiene bastante estable, aunque incrementa el uso de energía de manera indirecta, debido a una demanda superior en los procesos de extracción y procesado de los combustibles<sup>70</sup>, provocado por una menor disponibilidad de las fuentes de petróleo convencionales<sup>25</sup>. El riego aumenta ligeramente el consumo de ENR (67,9 PJ) y se consolida la electricidad como el mayor componente en esta categoría (44,5PJ), donde el consumo de energía aumenta tanto, que la energía generada en las propias presas del sistema no es suficiente para suplir la demanda en aumento<sup>21</sup>. En el caso de la protección, también se incrementa el consumo de ENR (39,8PJ), debido fundamentalmente a un incremento en la ENR de los pesticidas (26,8PJ).

**Gráfico 5. Uso de Energía No Renovable (PJ/año) de la producción vegetal en España en los escenarios estudiados**



En relación a los escenarios, de nuevo el escenario AE es el que tiene menor consumo de ENR (62,7 PJ vs 258 y 178 PJ de los escenarios F2F y ECO, respectivamente). En el escenario F2F se reduce en un 12% el consumo de ENR frente al escenario base, y como era de esperar, las mayores reducciones se producen en la ENR utilizada para la fertilización (66,9PJ) y para la protección (26,4PJ) fundamentalmente por la reducción en el uso de pesticidas, mientras que la reducción en el consumo de ENR para la tracción apenas se ve modificada (97PJ) y no varía la utilizada para la irrigación (67,8PJ). En el escenario ECO la reducción frente a la situación actual es del 39%, y la mayor reducción ocurre en la fertilización con un consumo

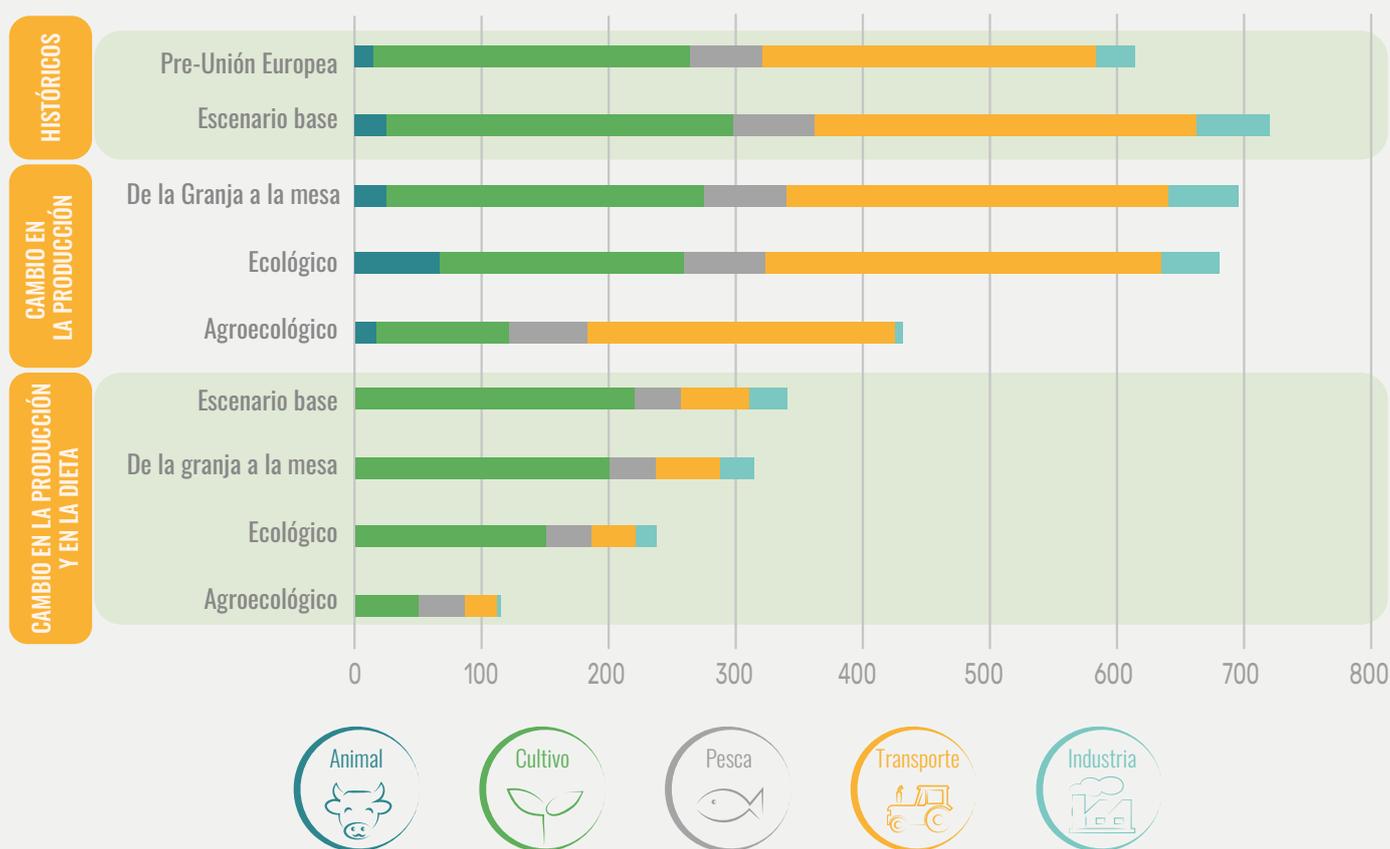
energético prácticamente anecdótico (0,08PJ), dado que se eliminan los fertilizantes inorgánicos, al igual que ocurre en el AE. En el escenario AE la reducción en el consumo de ENR con respecto a la actual es del 79% (62,7PJ), reduciéndose de forma importante la ENR de la irrigación (19,2PJ), sobre todo por reducción en el consumo de ENR de electricidad, que se sustituyen por fuentes de origen renovable. En la tracción (24,1PJ) la principal reducción se produce en el consumo directo de combustibles, que pasa a ser cero dado que la maquinaria se mueve con biocombustibles producidos en el mismo territorio..

## ENR del suministro interno de alimentos

En relación al suministro interno de alimentos (Gráfico 6), observamos que es el período actual en el que existe un mayor consumo de ENR (722PJ), seguido por los escenarios F2F\_Agri (699TJ) y ECO\_Agri (684PJ). Los escenarios en los que hay cambios de dieta reducen de forma drástica el uso de ENR con respecto a los mismos escenarios en los que solo hay un cambio de manejo, si bien ésta oscila entre el 53% de reducción en la actualidad (de 722 a 342PJ) y el 73% en el escenario AE (de 434

a 117PJ). El escenario AE\_SAA es el que tiene un menor consumo de ENR, suponiendo una reducción del 84% con respecto al consumo actual (722 vs 117PJ). Cabe destacar también la importancia del transporte en el consumo de ENR en el escenario base y en los escenarios en los que no hay cambios en la dieta y se importan alimentos para satisfacer la demanda nacional (en torno a 300PJ, aproximadamente la mitad del consumo de ENR).

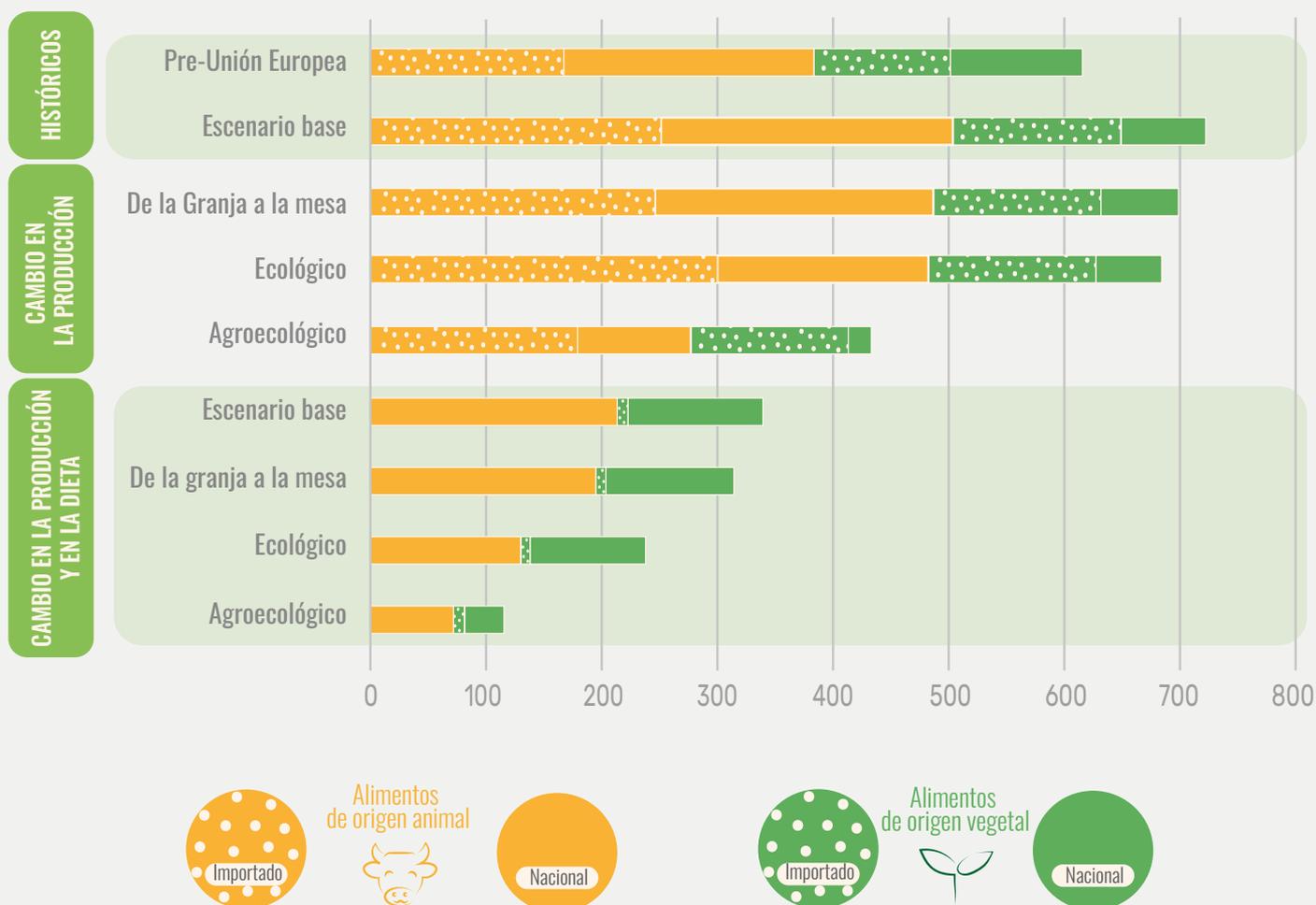
**Gráfico 6. Energía No Renovable (PJ/año) utilizada para el consumo alimentario de la población española en los escenarios estudiados, según componentes**



Si analizamos la ENR por el destino del alimento (vegetal y animal, incluyendo en esta últimas pescado y los cultivos dedicados a la alimentación animal, Gráfico 7), observamos que en la parte animal de la dieta supone entre el 64 y el 72% de toda la ENR consumida en los escenarios con solo

cambio de manejo (62% en el período preUE), y entre el 55 y el 64% en los escenarios en los que hay un cambio de dieta. En el escenario ECO\_Agri, es el componente animal importado (incluyendo pienso y productos animales) el que consume mayor ENR (297PJ).

**Gráfico 7. Energía No Renovable (PJ/año) utilizada para el consumo alimentario de la población española en los escenarios estudiados, según procedencia y tipo de alimento**



Nota: Los alimentos de origen animal incluyen la energía destinada a la producción de pienso

## C. Emisiones de GEI

Las emisiones de GEI asociadas al suministro de alimentos (gráfico 8) muestra cómo nuestras emisiones se han incrementado en términos generales, y en particular, las asociadas a la ingesta de productos de origen animal y a la producción de alimentos fuera de nuestras fronteras. Así, si en el período preUE las emisiones netas eran 63,7 MtCO<sub>2e</sub>, en la actualidad las emisiones son 88,9 MtCO<sub>2e</sub>. En este período, las emisiones nacionales se redujeron de 36,5 a 33,2 MtCO<sub>2e</sub> mientras que las emisiones procedentes de alimentos o materias primas importadas subió de forma significativa, de 27,2 a 55,7 MtCO<sub>2e</sub>, pasando del 43 al 62% del total de las emisiones. Por otro lado, las

emisiones de los alimentos de origen animal pasan de 69,2 a 90,3 MtCO<sub>2e</sub>, mientras que las de los alimentos de origen vegetal se reducen de 27,1 a 18,7. De todos los escenarios analizados, el escenario ECO\_Agri es el que implica mayor cantidad de emisiones (113MtCO<sub>2e</sub>), debido fundamentalmente a una menor productividad que se ha de ver compensada con una expansión de las áreas de cultivo y producción, en países terceros. En este escenario, las emisiones asociadas a la importación de alimentos son 92,2 MtCO<sub>2e</sub> y las emisiones asociadas al consumo de productos de origen animal 110,7 MtCO<sub>2e</sub>.

Efectivamente, si analizamos las emisiones según el origen geográfico (nacional o importado, gráfico 8) observamos que es en las importaciones donde se producen las mayores emisiones asociadas al consumo de alimentos en España, y donde a su vez se producen las principales variaciones con los cambios de dieta. Así, en los escenarios en los que solo se producen cambios en el manejo, las emisiones producidas en terceros países y asociadas a la importación de alimentos suponen el 63% en el escenario Base, 66% en F2F\_Agri, 81% en ECO\_Agri y 85% en AE\_Agri. Solo en el escenario Pre\_UE las emisiones asociadas a la importación eran menores que las nacionales (27 vs 37 MgCO<sub>2</sub>e).

Las proyecciones nos muestran que solo los escenarios en los que se realiza un cambio de dieta (escenarios SAA) permiten bajar de forma drástica las emisiones, y en el caso de los escenarios AE\_SAA y ECO\_SAA, incluso tener un balance neto negativo. Esto es así porque cuando los cambios en el manejo productivo vienen acompañados a su vez de cambios en la dieta, no solo dejan de producirse emisiones asociadas a la importación, sino que si

asumimos que las superficies liberadas se reforestan, puede generarse un secuestro de carbono que reduce el balance de emisiones de manera drástica (Base: de 98,4 a 8,2; F2F: de 88,8 a 4) llegando incluso a ser negativo en los escenarios ECO (de 113,3 a -8,5) y AE (de 54 a -24,1), suponiendo por tanto una captura neta de carbono. En resumen, observamos cómo los cambios en el manejo estudiados logran reducir las emisiones nacionales en mayor o menor medida (hasta llegar a la neutralidad en carbono en AE), pero a costa de incrementar las emisiones de las importaciones (debido a la menor productividad) cuando no hay cambios en la dieta, mientras que el cambio de dieta por si solo reduce drásticamente las emisiones de las importaciones pero apenas afecta a las emisiones nacionales. En contraste, la combinación de cambios en los manejos productivos con cambios en la dieta, no solo reduce las emisiones, sino que además permitirían lograr una captura neta de carbono. Por tanto, estos datos demuestran la necesidad de abordar la cuestión desde la perspectiva de sistema alimentario e integrar en las estrategias de mitigación y los cambios a nivel productivo con los cambios en los patrones de consumo.

**Gráfico 8. Emisiones de GEI asociadas al consumo alimentario de la población española en los escenarios estudiados (en MtCO<sub>2</sub>e)**



Comparativa de dos periodos temporales dos periodos temporales (preUE y base), con cambios de manejo (F2F\_Agri, ECO\_Agri, AE\_Agri) y con cambios en el sistema alimentario (F2F\_SAA, ECO\_SAA, AE\_SAA) desglosando si los alimentos son de origen animal o vegetal y nacional o importado. Las categorías Vegetal y Animal importados incluyen emisiones por deforestación. Las categorías Abandono no se pueden atribuir específicamente a productos animales o vegetales. La categoría Abandono importado representa el secuestro que se produciría al reducir las importaciones y abandonar esas superficies; Abandono nacional representa el secuestro por el actual abandono de tierras agrarias en España. ● "Emisiones netas"

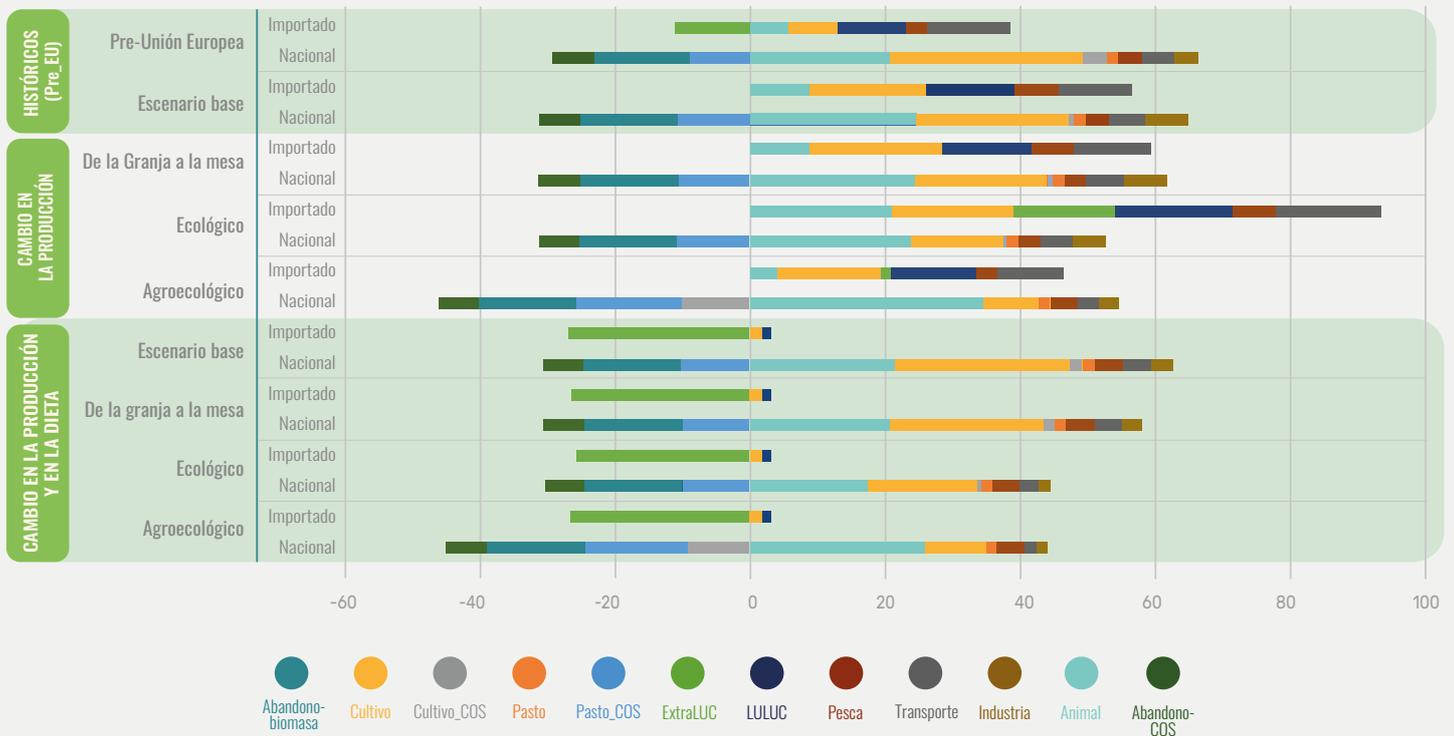
Con objeto de entender la procedencia de los cambios en las emisiones, desglosamos a continuación el origen de las emisiones de nuestra oferta alimentaria (Gráfico 9). Por un lado, tenemos las emisiones asociadas a los animales y que incluye manejo de estiércol, fermentación entérica (ambas agrupadas en la variable Animal) y excreción en pastoreo (Pasto); y las emisiones asociadas a los cultivos, la pesca, la industria y el transporte, tanto nacionales como importados. Por otro lado, tenemos la deforestación asociada a los cultivos o la ganadería en terceros países (LUC). También se ha tenido en cuenta el secuestro de carbono en la biomasa y en el suelo tanto en los cultivos (Cultivo\_COS), como en el pasto (Pasto\_COS), como en los suelos y territorios en los que se ha producido un abandono de tierras de cultivo en España (Abandono\_biomasa y Abandono\_COS). Estas dos últimas variables son las únicas que no van asociadas a componentes de la dieta y se mantienen constantes en todos los escenarios (sumando 20,1 MtCO<sub>2e</sub>). La variable ExtraLUC se refiere a las emisiones añadidas o restadas en escenarios en los que o bien se aumenta la deforestación (por una mayor demanda de territorio debido a una menor productividad) o bien se produce un abandono de tierras en las que crece la vegetación (por una menor demanda de territorio debido al cambio de dieta).

Analizando los datos observamos, por un lado, el gran potencial de captura de carbono de las tierras que dejan de ser utilizadas para el cultivo de exportación en terceros países en los escenarios SAA, y que está en torno a los 26MtCO<sub>2e</sub>. En los escenarios sin cambio de dieta se

añade deforestación de nuevos territorios, y de forma muy significativa en el escenario ECO\_agri, en el que la menor productividad ha de ser compensada con mayores importaciones. También el pastoreo de los animales rumiantes muestra un gran potencial de captura, que oscila entre los 15,3 MtCO<sub>2e</sub> del escenario AE\_SAA y los 8,8 MtCO<sub>2e</sub> del preUE. Por otro lado, merece la pena destacar las emisiones asociadas a la importación de pescado, que se han doblado desde el período preUE, suponiendo el doble que las emisiones de pesca de la flota nacional (3 MtCO<sub>2e</sub> vs 6 MtCO<sub>2e</sub>). En los escenarios con cambio de dieta no se importa pescado pero tampoco se exporta, así que las emisiones de la pesca nacional se incrementarían hasta 4 MtCO<sub>2e</sub> por el incremento en el consumo de pescado capturado por la flota nacional (aquí hay que destacar que la flota nacional también faena en caladeros internacionales). También la variable transporte muestra tendencias interesantes. Así, observamos que el transporte nacional supone entre el 4 y el 7% de las emisiones totales en los escenarios con cambios de manejo (entre 3MtCO<sub>2e</sub> del AE\_Agri y 5,5 MtCO<sub>2e</sub> del base), pero cuando añadimos las emisiones de transporte de alimentos de terceros países, esta variable supone entre el 18 y el 26% de las emisiones totales en estos mismos escenarios (entre 12,7 MtCO<sub>2e</sub> del AE\_Agri y 20,1 MtCO<sub>2e</sub> del ECO\_Agri). En los escenarios con cambio de dieta el transporte se reduce de forma significativa, y oscila entre los 2 MtCO<sub>2e</sub> del AE\_SAA y los 4,2 MtCO<sub>2e</sub> del Base\_SAA. Las emisiones de la industria suponen entre 3 y 6,2 MtCO<sub>2e</sub> en los escenarios sin cambio de dieta y entre 1,6 y 3,4 MtCO<sub>2e</sub> en los que sí hay cambio de dieta.



**Gráfico 9. Emisiones de GEI asociadas al consumo alimentario de la población española en los escenarios estudiados según el componente del balance y el origen de las emisiones (MtCO<sub>2</sub>e)**



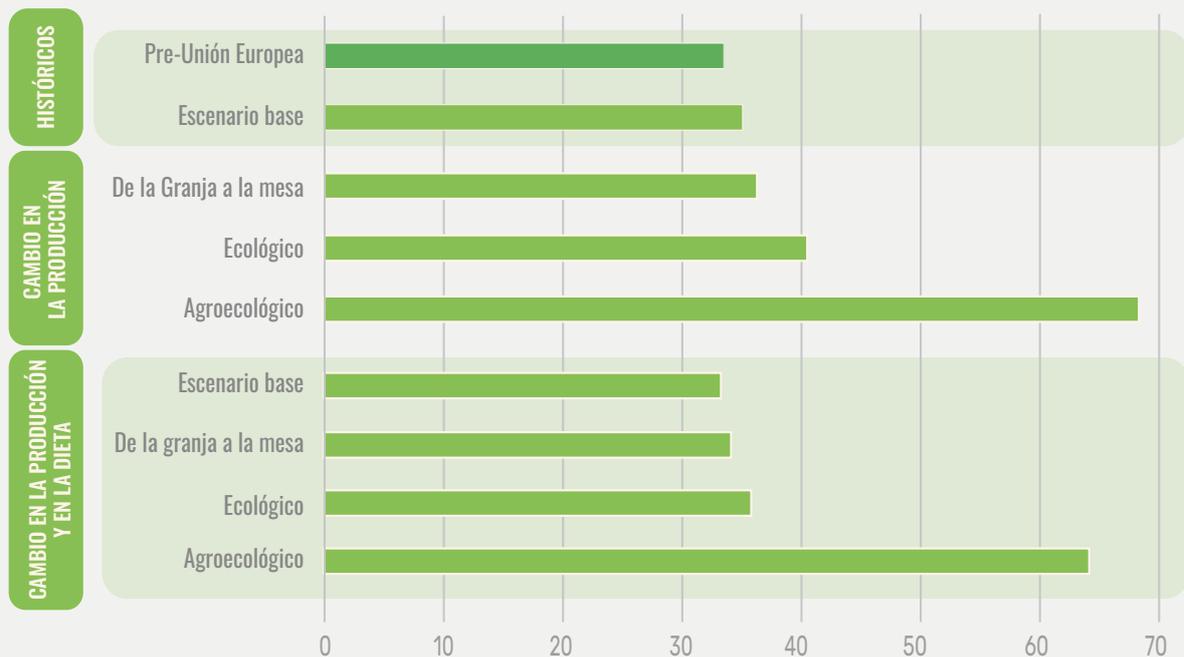
## 4.3 Impactos nacionales

### A. Calidad del suelo: Carbono Orgánico del suelo

El análisis de la calidad del suelo lo hacemos solo para la parte vegetal del sistema alimentario (gráfica 10). Los datos nos muestran cómo a nivel histórico los valores máximos de C potencial en el suelo (en equilibrio) se encuentran en el periodo preindustrial con 42,5 Mg C/ha, y los mínimos en el periodo pre-UE, con 27,4 Mg C/ha. según varios autores<sup>74</sup>, las razones de esta disminución están en una combinación de factores que promovieron mayores tasas de mineralización, en particular el cambio climático (mayores temperaturas) y la expansión de regadíos, con otros que provocaron una reducción de aportes (compensando el aumento de rendimientos), incluyendo la expansión de la quema de residuos, el uso de variedades con menor producción de hierbas y raíces<sup>88</sup>, la disminución de plantas adventicias en los cultivos por el uso intensivo de herbicidas, la pérdida de cubiertas vegetales en los cultivos leñosos, o la separación de la agricultura y la ganadería frente a los sistemas mixtos más tradicionales. En el corte temporal actual (base) se estima que el contenido de C en el suelo vuelve a aumentar ligeramente por la expansión de prácticas como la incorporación de residuos a los cultivos, la supresión de la quema de residuos, las cubiertas vegetales, o el riego por aunque no se alcanzan los niveles del periodo preindustrial.



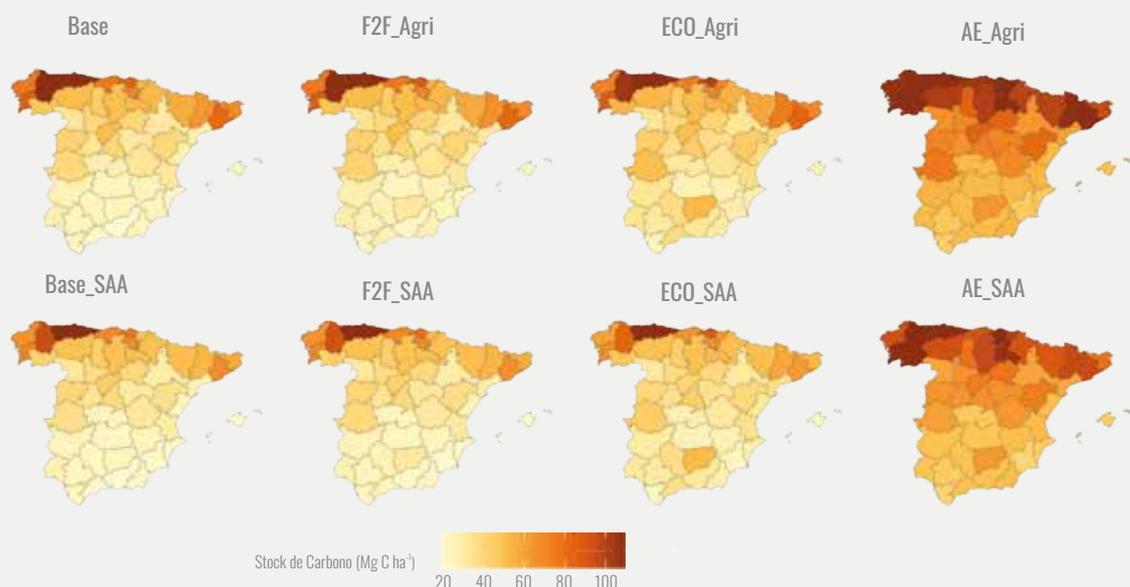
**Gráfico 10. Contenido potencial de carbono en suelos agrícolas en España (MgC/Ha)**



Con respecto a los escenarios, observamos por un lado cómo los escenarios con cambios en la dieta llevan a una ligera reducción del COS, debido a la menor disponibilidad de estiércol, y por otro cómo conforme se incrementa la ambición transformativa del sistema agroalimentario hacia la sostenibilidad, mayor es la cantidad de carbono recuperado en forma de materia orgánica en el suelo, si bien, solo el escenario AE permite no solo recuperar los

niveles de C preindustriales, sino incrementarlos hasta casi duplicar al escenario Base, superando los 60 MgC/ha. Los datos provinciales (Figura 1) nos muestran cómo las prácticas de manejo agroecológicas (escenarios AE) podrían revertir la pérdida de COS particularmente en las zonas más áridas del país, donde existe una importante amenaza de desertificación.

**Figura 1: Contenido potencial de carbono orgánico en suelos agrícolas a nivel provincial en los escenarios estudiados**



En efecto, en el contexto actual de cambio climático y en un territorio mediterráneo altamente vulnerable a sus efectos, como es España, se ha identificado como la degradación de los agroecosistemas, entre lo que se incluye la pérdida de COS, contribuiría a una menor productividad primaria neta de los cultivos<sup>74,89</sup>, así como a una menor producción. Por ello, es de extrema urgencia cambiar el manejo del suelo. Observamos como las prácticas de manejo asociadas a la producción

agroecológica permiten incrementar el COS, lo cual es indispensable para contribuir no sólo a la mitigación del cambio climático (como ya muestran los resultados del escenario AE\_SAA, en el que prácticamente todas las emisiones son compensadas), sino también a la adaptación: Un suelo con un contenido de materia orgánica adecuado es menos vulnerable a las sequías y a las inundaciones<sup>3,28</sup>.

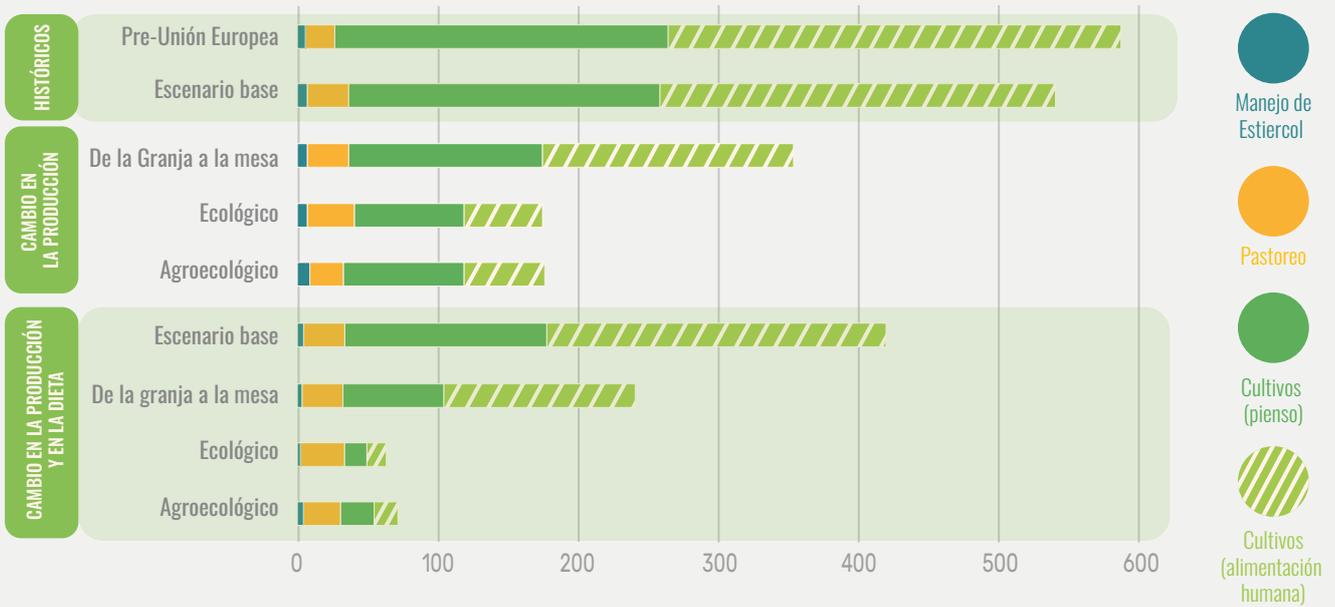
## **B. Calidad del agua: Lixiviado de Nitrato**

La industrialización agrícola ha supuesto la liberación de grandes cantidades de nitrógeno en forma de  $\text{NO}_3^-$  a los cuerpos de agua<sup>23</sup>. Así, si el lixiviado de  $\text{NO}_3^-$  asociado a los cultivos en el corte preindustrial era de 56,1 GgN, en el corte preUE se incrementa de forma exponencial (594,1GgN) y se reduce ligeramente en la actualidad (547,3GgN). En los mapas se muestra que desde 1990, son numerosas las provincias en las que el agua que percola de los suelos de cultivo contiene concentraciones de nitrato muy por encima del límite de 50 mg L<sup>-1</sup> establecido para las aguas de consumo humano (gráfica 11). Esto se debe a las altas tasas de fertilización con fertilizantes de síntesis, sobre todo en cultivos de regadío, y con purines, en zonas de concentración ganadera. Estos patrones se combinan con la cantidad de agua que percola al subsuelo, que depende de las precipitaciones y el riego, de modo que en zonas con baja percolación de agua al subsuelo el nitrato lixiviado alcanza concentraciones mayores. Por tanto, la situación actual de baja calidad de las aguas subterráneas por contaminación con nitratos se debe a la combinación de 3 procesos: unas aplicaciones de nitrógeno excesivas para lo que pueden aprovechar los cultivos, resultado de la intensificación, una concentración geográfica de la agricultura y ganadería intensivas, resultado de la especialización productiva, y una localización de las actividades más intensivas en zonas con baja precipitación. En consecuencia, España incumple sistemáticamente la Directiva de Nitratos de la Unión Europea de 1991, y en 2020 “las autoridades

europeas piden a las españolas que limiten la aplicación de fertilizantes y que controlen, asimismo, la gestión de los purines procedentes de la ganadería, y que aplique las medidas necesarias para frenar el deterioro de los ríos, los acuíferos y los humedales afectados ya por estos desechos <sup>90</sup>”. Los episodios de anoxia y gran mortandad de peces ocurridos en los últimos años, por ejemplo, en el verano de 2021 en el Mar Menor, hablan por sí mismos.

Los escenarios nos muestran mejoras que varían en función de la presencia de agricultura ecológica y de si hay cambios o no en la parte de consumo. Así, observamos que el escenario F2F\_SAA supone una reducción del 55% con respecto al actual, y solo del 35% si no hay cambio de dieta (F2F\_Agri). Los escenarios ECO\_SAA y AE\_SAA suponen una reducción de 88 y 87%, respectivamente y del 68% si sólo se producen cambios en el manejo agrario y no en la dieta. Estos son los únicos escenarios en los que se consigue una reducción sustancial del lixiviado de  $\text{NO}_3^-$ . En el caso de la ganadería cabe destacar que la principal fuente de lixiviado de nitratos es indirecta, es decir, procede de la fertilización de los cultivos para la elaboración de los piensos, siendo el manejo del estiércol y la excreción por pastoreo prácticamente anecdótica en todos los escenarios, si bien en los escenarios ECO\_SAA y AE\_SAA tiene un papel importante por la gran reducción del lixiviado en cultivos (gráfica 11).

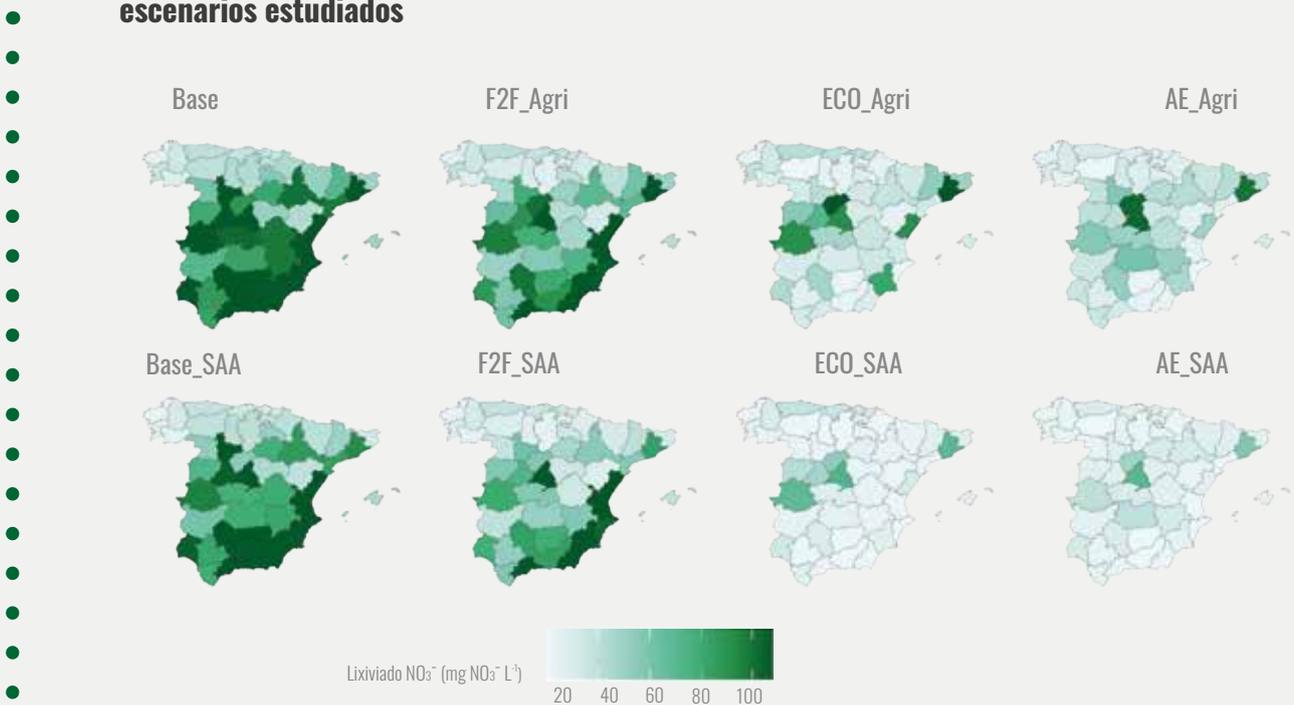
**Gráfico 11. Lixiviado de nitratos asociado a la producción vegetal y animal nacional en los escenarios estudiados (GgN)**



Los datos de los escenarios por provincias muestran las zonas en las que la ganadería y la agricultura intensivas tienen un peso específico importante. En la actualidad, es en la zona mediterránea donde se alcanzan concentraciones más altas de nitrato en el agua que drena al subsuelo, donde se concentra una parte importante de la producción animal y de la hortofruticultura intensiva al aire libre y bajo plástico. También se muestra cómo aun a pesar de

las mejoras en el manejo y en el sistema agroalimentario en los escenarios ECO\_SAA y AE\_SAA, provincias como Barcelona o Madrid seguirían superando los 50mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l, lo que se debe a la alta densidad de población que tienen estas provincias, y hace pensar que serían necesarias medidas adicionales, como el transporte de parte de la excreta humana, previo tratamiento, a provincias vecinas (Figura 2).

**Figura 2: Contenido de nitratos en el agua de drenaje en tierras agrarias en los escenarios estudiados**



En muchas provincias se supera ampliamente el límite de la escala

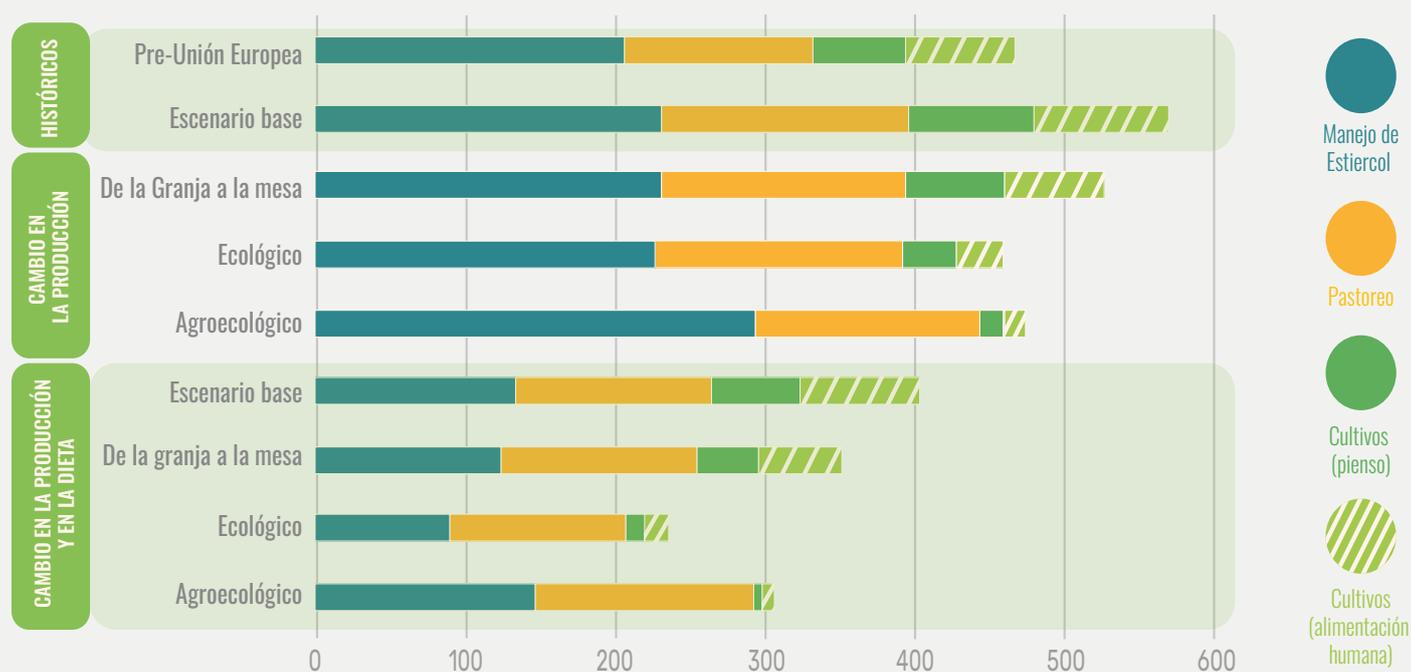
## C. Calidad del aire: Volatilización del Amoníaco

Los datos de volatilización del amoníaco para España muestran un incremento continuado desde la época preindustrial hasta hoy<sup>23</sup> (Gráfica 13). Así, en el caso de la producción vegetal, en el que la volatilización del amoníaco es debida únicamente a la fertilización, pasamos de 41GgN en el corte preindustrial, a 134,8 y 174,3 GgN en los cortes pre-UE y actual. Cabe destacar que la volatilización del amoníaco depende del tipo de fertilización aplicada, del método de aplicación, del clima de la zona y del tipo de regadío. Sin embargo, para este indicador, es la producción animal la principal fuente de amoníaco, con 393,3 y 480,4 GgN en 1990 y 2016, respectivamente. En este caso la principal fuente de emisión es el manejo del estiércol, seguida de la excreción en pastoreo y finalmente la fertilización asociada a la producción de piensos.

En relación a los escenarios, observamos que sólo los escenarios con cambio de dieta permiten una reducción importante de la volatilización de NH<sub>3</sub>, fundamentalmente por la reducción asociada al manejo del estiércol.

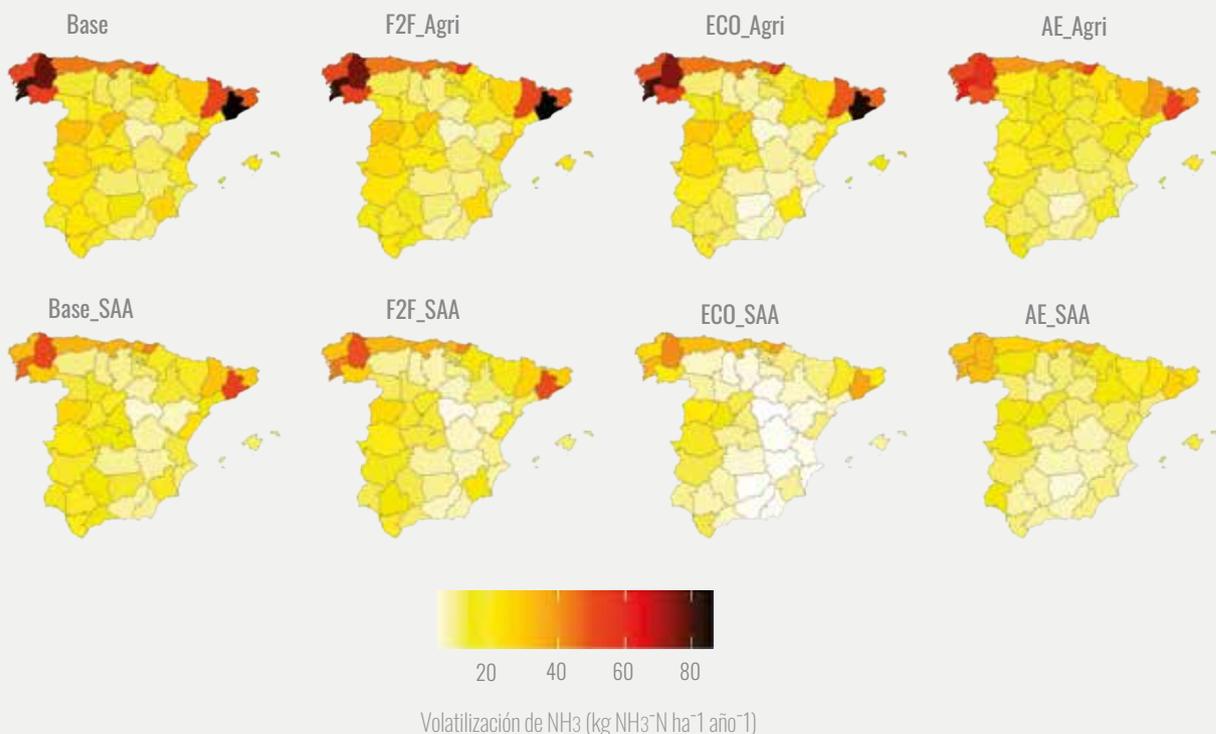
El escenario ECO\_SAA es el que da mejores datos (234,8GgN) seguido del escenario AE\_SAA (306,3 GgN). Sin embargo, al desglosar los datos por procedencia animal o vegetal, observamos que la reducción de las emisiones de los cultivos para consumo humano se reduce en mayor medida en el escenario AE que en el ECO (13,2 vs 27,4 GgN respectivamente), debido a que se asume una incorporación temprana del estiércol. En cambio en la parte animal la reducción es mayor en el escenario ECO que en el AE (220,1 vs 299,1), debido a que en el escenario ECO la cabaña ganadera es menor que en el AE, dado que las prácticas asociadas a este escenario permiten mantener más animales con los recursos disponibles. Hay que tener en cuenta que en este trabajo no se ha hecho ninguna asunción sobre aplicación de prácticas de mitigación de NH<sub>3</sub> en el manejo de estiércol, por lo que podemos considerar que el potencial de mitigación que se muestra está subestimado. En cualquier caso, en los escenarios ECO y AE con cambios en la dieta se lograría cumplir con la Directiva 2001/81/CE.

**Gráfica 12. Volatilización del amoníaco asociado a la producción animal y vegetal nacional en los escenarios estudiados (GgN)**



Comparativa de distintos cortes temporales y escenarios, desagregado según fuente de NH<sub>3</sub> (estiércol, pienso, pastoreo para animal; cultivos para vegetal).

**Figura 3: Volatilización de amoníaco por hectárea de superficie agraria a nivel provincial en los escenarios estudiados**



Los datos por provincias muestran la asociación de los puntos calientes de emisión de amoníaco a las zonas de concentración ganadera, especialmente la cornisa cantábrica y Cataluña, pero también en algunas provincias

de la costa mediterránea y del oeste peninsular. Solo la combinación de agricultura ecológica o prácticas agroecológicas con cambios en la dieta logra reducciones importantes en la emisión de amoníaco en estas zonas.



Hemos de resaltar que **los resultados aquí mostrados son el fruto de un trabajo aún en construcción, en el que muchas de las asunciones están siendo revisadas.** Por un lado, son convenientes mejoras en la metodología para alcanzar resultados más robustos, algunas de las cuales se mencionan a continuación.

La precisión de las estimaciones realizadas se beneficiaría del uso de factores más precisos para los impactos ambientales de los productos importados, que en el presente trabajo se basan mayoritariamente en un número limitado de países o regiones geográficas, y sin dimensión temporal (excepto en el caso del uso del suelo). También debe mejorarse la estimación del rendimiento y prácticas de manejo en ecológico, empleando datos más actuales (la estimación se basa en datos de 2005) y considerando el efecto de la fertilización sobre el rendimiento (lo que llevaría a observar diferencias significativas de rendimientos entre los distintos escenarios, por las diferencias en la disponibilidad de nitrógeno debidas a las distintas cargas ganaderas y uso de cubiertas vegetales y leguminosas). También hay que señalar que aquí no hemos tenido en cuenta los efectos sobre los impactos de la dieta de terceros países que puede causar el cese de la exportación de carne de España, o la reducción de la exportación de productos hortofrutícolas y aceite de oliva. Estos efectos dependerán no solo de los cambios generados en España en los escenarios considerados, sino también de los posibles cambios en la dieta que puedan ocurrir en esos países.

Otra de las asunciones que podría revisarse es la de la reforestación vinculada al abandono de las superficies de cultivo y pasto de países de los que actualmente importamos que se reducen en los escenarios con cambios en la dieta. En un escenario de transición agroecológica a nivel global, es probable que parte de estas superficies deban emplearse para producir alimentos en lugar de reforestarse, ya que habría incrementos en la huella territorial de la alimentación de muchos países en los que actualmente el consumo de productos de origen animal es bajo y por tanto no hay margen para reducir la demanda de territorio con cambios en la dieta. Con un manejo agroecológico y sistemas agroforestales se podría

promover el secuestro de carbono en estos territorios, pero los niveles alcanzados serían probablemente menores que los que muestran nuestros resultados. No obstante, hay que señalar que la neutralidad en carbono en el escenario AE\_SAA se alcanzaría incluso sin incluir el secuestro por reforestación de zonas abandonadas en terceros países. Por otro lado, queremos subrayar que nuestro criterio para los escenarios de cambio de dieta, basado en reducir los niveles de consumo de productos de origen animal hasta lograr la autosuficiencia en la alimentación animal y humana, es solo una de las opciones posibles en la construcción de escenarios alternativos, y que podrían explorarse otras posibilidades como las de establecer como objetivo una composición de la dieta determinada, priorizando criterios de salud o de reducción de impactos. Esto afectaría a los impactos de los escenarios y a sus repercusiones globales. Por ejemplo, si estableciéramos un nivel de consumo de carne menor, se podría reducir aún más la cabaña ganadera y destinar a otros fines los cultivos que dejarían de emplearse para su alimentación, o exportar una parte de la producción de carne (por ej. a países que no cubren su propio consumo por razones biofísicas).

Un aspecto en el que no hemos profundizado es el del análisis detallado de la dieta humana y de los animales a nivel de micronutrientes y de contaminantes. Aunque no existen datos concluyentes, algunos estudios muestran como los alimentos ecológicos presentan mejores propiedades nutricionales<sup>91</sup>. Este análisis, por un lado, probablemente mostraría los beneficios para la salud de la mayor presencia de antioxidantes o de omega-3, asociados a la producción ecológica<sup>92,93</sup> junto a unos menores niveles de residuos de pesticidas y cadmio. Asimismo, los productos de origen animal obtenidos de animales alimentados a base de pasto (ganadería extensiva) presentan una mayor cantidad de grasas deseables<sup>94</sup> o poliinsaturadas, así como una menor presencia de microorganismos resistentes a antibióticos<sup>95</sup>. Por otro lado, este análisis detallado también podría mostrar carencias en las dietas que llevarían a la necesidad de reconfigurar las proporciones que representan los distintos cultivos sobre la superficie

cultivada, de manera que puedan garantizarse unas dietas óptimas para la salud humana y animal. Nuestra hipótesis es que estos cambios tendrían efectos muy limitados a nivel biofísico, y por tanto nuestros resultados de impactos ambientales apenas se verían alterados.

También es necesario complementar nuestro análisis de los impactos ambientales con análisis económicos y sociales de los distintos escenarios. Por ejemplo, el escenario agroecológico con cambios en la dieta (AE\_SAA), que es el que mejores resultados muestra en términos ambientales, conlleva profundos cambios en toda la cadena productiva que tienen grandes implicaciones económicas y sociales, que en general podemos esperar que sean positivas. Así por ejemplo, a nivel de empleo en el sector agrario existen pocos estudios, pero la tendencia muestra un incremento en el número de empleos generados y su duración en la agricultura ecológica y la ganadería extensiva. En Estados Unidos la producción ecológica genera entre un 2 y 12% más de empleos que la producción convencional y entre 13 un 43% de las granjas ecológicas emplearon la mano de obra durante 150 días o más que la media de las granjas convencionales<sup>96</sup>. En Reino Unido e Irlanda se estima que las granjas ecológicas generan un 135% más de jornadas a tiempo completo que las convencionales<sup>97</sup>. En España la producción ecológica de olivar requiere un 20% más de mano de obra<sup>98</sup>, la producción de cítricos usa 0,25 unidades de trabajo agrarias por hectárea (UTA/ha) frente a las 0,1 en convencional<sup>99</sup> y en la producción hortícola los costes en mano de obra son 6,5 más que en la producción convencional<sup>100</sup>. La mayor demanda de mano de obra puede derivar en una insostenibilidad económica, ya que aumentan los costes totales de la producción<sup>101</sup>. Sin embargo, hay características como la menor dependencia de insumos externos o la combinación de agricultura y ganadería, que permiten disminuir los costes productivos<sup>102</sup>. En la ganadería algunos estudios encontraron que la producción láctea agroecológica requiere de mayor mano de obra (2,51 UTA a tiempo completo frente a 1,6 en granjas convencionales)<sup>102</sup>. En el norte de España encontramos una elevada empleabilidad en el bovino ecológico lechero con una media de 6,2 UTA/100 ha<sup>103</sup>, frente a la media general de 5,8 UTA/100 ha del vacuno lechero en España<sup>104</sup>. En este trabajo no diferenciamos entre ganadería ecológica o extensiva. La mano de obra empleada en la ganadería ecológica es similar a los datos de la granjas convencionales en razas que tienen

un manejo extensivo<sup>105</sup>, especialmente aquellas de aptitud cárnica, por lo que en el caso ganadero sería la variable extensividad la que tendría una mayor repercusión en la generación de empleo. Se debe tener en cuenta que la ganadería extensiva es una producción vinculada al territorio con una elevada sostenibilidad, y entran por tanto en un enfoque agroecológico de la producción, con un manejo asociado a este tipo de producciones muy parecido al de las granjas ecológicas. El factor determinante para que las granjas requieran más mano de obra puede ser que las granjas sean negocios pequeños o familiares en producciones en extensivo con razas locales<sup>106,107</sup>.

Otros impactos positivos no considerados en este trabajo estarían generados por la internalización de actividades como la producción del combustible o el fertilizante, o de costes de la descontaminación (que se reducirían, particularmente en áreas que ahora tienen problemas de potabilidad del agua, como las Zonas Vulnerables a Nitratos), reducción de impactos sociales en terceros países, como los asociados al acaparamiento de tierras, etc. Esta internalización de costes sociales y ambientales, sin embargo, podría llevar a un encarecimiento de los productos agroalimentarios cuyo impacto sobre los sectores más vulnerables de la población habría que tratar de evitar mediante medidas correctoras, como el pago por servicios ambientales, el acortamiento de las cadenas de valor, o la modulación de los impuestos en puntos críticos de la cadena agroalimentaria.

Por otro lado, hay muchas prácticas que podrían contribuir a mejorar la sostenibilidad del sistema agroalimentario y que no han sido consideradas. Por ejemplo, no hemos estudiado el potencial de la valorización de los residuos urbanos y agroindustriales para recuperar su energía, carbono y nutrientes mediante diversas vías: el reciclaje de residuos urbanos, incluyendo la excreta humana y los residuos sólidos urbanos, es fundamental para incrementar los aportes de nutrientes y carbono al suelo, algo que podría lograrse mediante prácticas como la biodigestión o el compostaje. En el caso de los residuos agroalimentarios, incluyendo desperdicio de alimentos, partes no comestibles y residuos de agroindustria, su uso para alimentación animal podría contribuir a la producción y reducir los impactos ambientales tanto en rumiantes<sup>108</sup> como en monogástricos<sup>109</sup>, ya sea de manera directa o de manera indirecta, por ejemplo vía insectos<sup>110</sup>. Otra práctica que podría mejorar la producción y la sostenibilidad es la sustitución del pastoreo continuo por el pastoreo rotacional

con periodos de descanso, que se ha observado que podría incrementar la producción de biomasa de pastos<sup>111</sup> además de contribuir al secuestro de carbono<sup>112,113</sup> (que sí hemos considerado, aunque de manera conservadora). También existe potencial de mejora en la producción de materiales de invernaderos y acolchados plásticos, que podrían ser de origen biológico o con un mayor componente reciclado. De manera más general, la mayor parte del consumo de energía no renovable y de las emisiones de GEI en el escenario AE se producen fuera de la finca, en la fabricación de insumos o infraestructuras, por lo que

no son directamente dependientes del manejo, sino de cambios en estos procesos productivos (por ejemplo, el tipo de energía que se usa en la fabricación de maquinaria, etc.).

Cabe señalar por otro lado, que otro de los objetivos de la estrategia de la granja a la mesa es reducir a la mitad las pérdidas de N. Esta asunción no ha sido considerada en los escenarios, con lo que nuestra evaluación del F2F es parcial, afectando fundamentalmente a los datos de lixiviado de  $\text{NO}_3^-$  y volatilización de  $\text{NH}_3$ .

## 6

## CONCLUSIONES

Los cortes temporales nos sirven para poder valorar desde una perspectiva histórica las transformaciones del sistema agroalimentario español, contextualizando las posibles propuestas analizadas. A partir de la revisión de la literatura y el análisis de los indicadores incluidos en nuestro estudio podemos concluir que se ha producido

**El sistema agroalimentario español ha evolucionado de ser una producción vinculada al territorio, basada en recursos renovables y locales y destinada al abastecimiento de la población nacional, hacia otro modelo industrial y altamente mecanizado, hiperproductivista, particularmente de productos de origen animal, el cual es completamente dependiente de recursos no renovables y externaliza gran parte de la producción de las materias primas agrícolas y, con ellas, impactos ambientales y sociales a terceros países.**

una clara intensificación, industrialización y especialización del sistema agroalimentario, tanto en la parte de producción como en la de consumo, con un empeoramiento generalizado de los indicadores analizados con respecto al corte preindustrial. Estos datos coinciden con Aguilera et al.<sup>18</sup>, que describen un sistema que evoluciona de una producción agraria tradicional dependiente en última instancia de energía solar y con rendimientos bajos, a un sistema altamente dependiente de insumos externos no renovables (combustibles fósiles y minerales) y altos rendimientos pero también alto impacto ambiental<sup>18</sup>. Ello requiere apostar por cultivos y variedades que necesitan de mayor cantidad de insumos, así como importar materias primas y tierra de terceros países. Así, España se convierte en importadora neta de tierra, usando en la actualidad 9,2 millones de Ha de terceros países (aproximadamente 1/3 de su SAU). Para algunos de los indicadores, las mejoras tecnológicas y de eficiencia en el uso de algunos insumos, así como la mayor restricción de algunas directivas en lo que se refiere al nitrógeno, por ejemplo, nos muestra mejoras en el corte actual con respecto al corte preUE, si bien, en ningún caso se llega a las cifras del corte preindustrial. Estos

datos, en consonancia con otros estudios, nos muestran que si bien las mejoras tecnológicas son importantes, tienen una capacidad limitada en la reducción de impactos.

En relación a los escenarios, este trabajo muestra, en primer lugar, que la transformación agroecológica del sistema agroalimentario español, con una generalización del manejo agroecológico en base a recursos locales, energías renovables, ganadería extensiva, y con cambios en la dieta hacia patrones más saludables (escenario AE\_SAA), no solo es capaz de proveer de los nutrientes necesarios a la población española, sino que es el único escenario que consigue realmente un sistema agroalimentario sostenible, saludable y resiliente. Así, en este escenario se logra reducir drásticamente todos los impactos ecológicos analizados e incluso revertir procesos de degradación como muestra el indicador del carbono del suelo, alcanzar un balance de carbono profundamente negativo por la combinación de la reducción de emisiones con el secuestro de carbono, contribuyendo así a mitigar el cambio climático, eliminar la dependencia de importaciones y restringir notablemente el uso de energía no renovable, y mejorar la calidad del agua y aire hasta niveles aceptables, cumpliendo las normativas europeas incluso a nivel provincial.

Los escenarios que consideran estrategias centradas únicamente en cambios en la producción, como son la propuesta de la granja a la mesa (F2F\_Agri) o una transformación hacia la agricultura ecológica normativa (ECO\_Agri), suponen avances en la reducción de los impactos nacionales, pero son claramente insuficientes para responder a los retos globales, llegando incluso a agravar los impactos en terceros países. Esto se debe al descenso en la productividad asociada y la necesidad de satisfacer la demanda con un incremento en las tierras importadas si se decide mantener la SAU española actual, lo que supone una externalización importante de las emisiones de GEI y consumo de ENR, entre otros impactos ecológicos, en línea con los resultados de Smith et al.<sup>114</sup> para el caso de Inglaterra. Por tanto, si bien realizar cambios solo en la parte productiva



de la cadena implica mejoras en la mayoría de los indicadores a nivel nacional, éstas son superadas por los incrementos en los impactos de las importaciones (aunque no en el caso del escenario AE\_Agri) siendo imprescindible un cambio también en la parte de consumo para evitar que aumenten los impactos globales totales.

Por otra parte, los resultados también muestran el alto potencial que tendrían sólo los cambios en la dieta, sin cambios en el manejo (Base\_SAA), para reducir de forma notable los impactos ambientales del sistema agroalimentario, en línea con lo que muestran numerosos estudios a nivel global<sup>1,115</sup>. En particular, nuestros resultados en el escenario en el que únicamente hay cambios en la dieta (Base\_SAA) corroboran los de Sun et al.<sup>116</sup> para el caso europeo, en el que mostraban un doble beneficio climático derivado de la reducción de emisiones acompañada de secuestro de carbono por reforestación de tierras abandonadas en terceros países. Sin embargo, pese a estos beneficios, de nuevo esta medida centrada en un solo extremo de la cadena (en este caso el consumo) se muestra insuficiente, en este caso porque la reducción de los impactos vinculados al territorio, como la degradación del suelo y la calidad del aire y del agua, es muy limitada.

Por último, los resultados muestran las importantes sinergias que existen entre las estrategias centradas en la producción y las centradas en el consumo, aunque el efecto es variable en función del escenario. Los escenarios F2F\_SAA y ECO\_SAA, si bien suponen mejoras importantes en todos los indicadores, se quedan cortos a la hora de hacer frente a los retos de sostenibilidad a los que nos enfrentamos a nivel global, mientras que como se ha dicho, el escenario AE\_SAA logra cumplir de manera generalizada con todos los retos planteados.

Por ende, la introducción de prácticas agroecológicas y/o prácticas ecológicas vinculadas al territorio, permitiría eliminar el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos, así como hacer uso de variedades autóctonas, las cuales son centrales para lograr los objetivos de la Estrategia de Biodiversidad de la UE. Sin embargo, tal y como ocurre con el escenario F2F\_Agri y ECO\_Agri, si no vienen acompañados de cambios

en la dieta, serán insuficientes, incrementando los impactos en terceros países, sobre todo en el escenario ECO\_Agri. Sin embargo, con la relocalización de la dieta y de la producción alimentaria se disminuiría la dependencia de terceros países, con lo que se incluiría, por un lado, el objetivo de la Estrategia de la Granja a la Mesa de disminuir el transporte de larga distancia y, por el otro, se evitaría la introducción de productos asociados a deforestación en los circuitos alimentarios europeos, punto que también forma parte de la Estrategia de Biodiversidad de la UE.

Teniendo en cuenta esta imagen general, vemos que el primer objetivo del Pacto Verde Europeo de un continente neutro en emisiones de GEI para 2050 no será posible alcanzarlo con un sistema agroalimentario altamente deslocalizado, cuyos procesos productivos y las fases situadas más allá de la puerta de la granja están basados en energías no renovables con problemas de vulnerabilidad del suministro y elevadas emisiones de GEI asociadas. Por otro lado, la desaparición de los sistemas tradicionales de ganadería extensiva y el manejo intensivo del suelo, entran en contradicción con la propuesta del Plan del Objetivo Climático conjuntamente a la Estrategia de la Granja a la Mesa de mantener los sumideros de carbono existentes, lo cual a su vez imposibilita cumplir con el objetivo de alcanzar la neutralidad de emisiones. Así, las tres propuestas principales de la Estrategia de la Granja a la Mesa (reducción en un 50% de los pesticidas químicos, 25% de la tierra agrícola de la UE en régimen ecológico, reducción en un 50% el desperdicio alimentario), algunas de ellas abordadas parcialmente en la reciente reforma de la PAC para el periodo 2023-2027, son insuficientes para alcanzar unas metas de sostenibilidad en nuestro sistema alimentario. En nuestro estudio se pone de manifiesto la necesidad de transformar los patrones de consumo alimenticios, para que todas estas acciones permitan alimentar a toda la población siguiendo un patrón de dieta saludable y accesible, sin perjudicar a otros territorios a nivel global. Este trabajo muestra que es posible garantizar con estos recursos un consumo proteico adecuado, si bien sería necesario analizar las dietas a nivel de micronutrientes para poder tener estimaciones más robustas desde el punto de vista dietético. También se muestra cómo los objetivos planteados por la estrategia son insuficientes en lo

que se refiere por ejemplo a las emisiones de GEI, el uso de ENR, o el COS, señalando la necesidad de incorporar objetivos más ambiciosos.

En definitiva, este trabajo muestra grandes oportunidades de transformación hacia sistemas más resilientes, justos y sostenibles capaces de proveer a la población española de alimentos seguros y saludables, culturalmente apropiados, es decir, vinculados a la dieta Mediterránea, y con impactos positivos en el medio ambiente, en otras palabras, que la transición agroecológica en España es posible. Se debería mantener las fuentes de proteína animal provenientes de una producción sostenible que aprovecha recursos que no compiten con la alimentación humana, como por ejemplo las zonas de pastos, y que mediante un buen manejo permiten cerrar ciclos de nutrientes, mejorar la biodiversidad, secuestrar carbono o reducir el riesgo de incendios. Además, la consecuente disminución de proteína animal en la dieta humana debería ser compensada con una mayor presencia de proteína vegetal procedente de un incremento en el cultivo de leguminosas, práctica asociada a las rotaciones de cultivo, y que contribuye a la fijación de nitrógeno en el suelo, compensando así parte de su deficiencia y contribuyendo a la captura de GEI. Estos resultados coinciden con el análisis realizado por Poux et al.<sup>117</sup> y por Billen et al.<sup>13</sup> que haciendo un ejercicio prospectivo de transición agroecológica en Europa mostraron los beneficios asociados y que esto era posible. El punto de partida de Poux et al., basado en los estudios de sociología de la innovación y que nosotros compartimos, es que la coexistencia entre modelos no es posible pues diferentes modelos

compiten por unos recursos (tierra, agua, trabajo, capital, subvenciones) escasos. Nuestro trabajo incluye otros elementos que no fueron valorados por estos autores, que se centraron fundamentalmente en los aspectos agronómicos. Aquí hemos incluido en los escenarios con cambios en la dieta un objetivo de autosuficiencia y consecuentemente una reducción de las importaciones, limitándolas a algunos productos que no se pueden producir aquí y tienen un consumo culturalmente extendido.

**Con el enfoque actual de las políticas, las iniciativas agroecológicas quedan relegadas a experiencias “nicho”, aisladas y distribuidas por el territorio, impidiendo de esta manera el salto de escala necesario. Para promover una transformación del sistema agroalimentario en España hacen falta medidas que apoyen de forma decidida a la agroecología.**

1. Willett, W. et al. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* **393**, 447–492 (2019).
2. Comisión EAT-Lancet. Alimentos Planeta Salud: Dietas saludables a partir de sistemas alimentarios sostenibles. (2018).
3. IPCC. Climate Change and Land: an IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. (2019).
4. FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO. The State of Food Security and the Nutrition in the World: Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. (2021). doi:10.4060/cb4474en
5. FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition. (2018).
6. HLPE. Food security and nutrition building a global narrative towards 2030. (2020).
7. Rockström, J. et al. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecol. Soc.* **14**, art32 (2009).
8. Campbell, B. M. et al. Agriculture production as a major driver of the earth system exceeding planetary boundaries. *Ecol. Soc.* **22**, (2017).
9. Desmit, X. et al. Reducing marine eutrophication may require a paradigmatic change. *Sci. Total Environ.* **635**, 1444–1466 (2018).
10. Gu, B. et al. Abating ammonia is more cost-effective than nitrogen oxides for mitigating PM2.5 air pollution. *Science* (80-.). **374**, 758–762 (2021).
11. Cayuela, M. L. et al. 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 (2017).
12. Thompson, R. L. et al. Acceleration of global N<sub>2</sub>O emissions seen from two decades of atmospheric inversion. *Nat. Clim. Chang.* 2019 912 **9**, 993–998 (2019).
13. Billen, G. et al. Reshaping the European agro-food system and closing its nitrogen cycle: The potential of combining dietary change, agroecology, and circularity. *One Earth* **4**, 839–850 (2021).
14. FAO. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture (2019). doi:10.4060/ca3129en
15. Crippa, M. et al. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nat. Food* **2**, 198–209 (2021).
16. Infante-Amate, J., Aguilera, E. & de Molina, M. G. Energy transition in Agri-food systems. Structural change, drivers and policy implications (Spain, 1960–2010). *Energy Policy* **122**, 570–579 (2018).
17. Aguilera, E., Sanz-cobena, A., Infante-amate, J., Vila-traver, J. & Lassaletta, L. Long-term trajectories of the C footprint of N fertilization in Mediterranean agriculture. (2018).
18. Aguilera, E. et al. Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España. (2020).
19. González de Molina, M. et al. The Social Metabolism of Spanish Agriculture. (Springer, 2020).
20. Soto, D. et al. The social metabolism of biomass in Spain, 1900–2008: From food to feed-oriented changes in the agro-ecosystems. *Ecol. Econ.* **128**, 130–138 (2016).
21. Aguilera, E. et al. 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 (2019).
22. Lassaletta, L., Billen, G., Romero, E., Garnier, J. & Aguilera, E. How changes in diet and trade patterns have shaped the N cycle at the national scale: Spain (1961–2009). *Reg. Environ. Chang.* **14**, 785–797 (2014).
23. Aguilera, E. et al. Long-term trajectories of the C footprint of N fertilization in Mediterranean agriculture (Spain, 1860–2018). *Environ. Res. Lett.* **16**, 085010 (2021).
24. Guzmán, G. I. et al. The agrarian metabolism as a tool for assessing agrarian sustainability, and its application to Spanish agriculture (1960-2008). *Ecol. Soc.* **23**, (2018).
25. Aguilera, E. et al. Embodied energy in agricultural inputs. Incorporating a historical perspective. (2015).
26. Popkin, B. M. Global nutrition dynamics: the world is shifting rapidly toward a diet linked with noncommunicable diseases. *Am. J. Clin. Nutr.* **84**, 289–298 (2006).
27. Rivera-Ferre, M. G. et al. Re-framing the climate change debate in the livestock sector: mitigation and adaptation options. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* **7**, 869–892 (2016).
28. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. (2022).
29. Muller, A. et al. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nat. Commun.* **8**, 1–13 (2017).
30. HLPE. Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. (2019).
31. Morais, T. G. et al. Agroecological measures and circular economy strategies to ensure sufficient nitrogen for sustainable farming. *Glob. Environ. Chang.* **69**, 102313 (2021).
32. Altieri, M. A., Nicholls, C. I. & Montalba, R. Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: An agroecological perspective. *Sustainability* **9**, 1–13 (2017).
33. Gliessman, S. R. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. (Lewis Publishers, 2000).
34. Aguilera, E. et al. Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. *Agric. Syst.* **181**, 102809 (2020).
35. FAO. El estado de la biodiversidad para la alimentación y la agricultura en el mundo. Resumen. (2019).
36. Guzmán, G., González de Molina, M. & Sevilla, E. Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. (Mundi-Prensa, 1999).
37. Del Prado, A. & Manzano, P. La ganadería y su contribución al cambio climático. (2020).

38. Del Prado, A., Mas, K., Pardo, G. & Gallejones, P. Modelling the interactions between C and N farm balances and GHG emissions from confinement dairy farms in northern Spain. *Sci. Total Environ.* **10** (2013). doi:10.1016/j.scitotenv.2013.03.064
39. Reyes-Palomo, C. et al. Carbon sequestration offsets a large share of GHG emissions in dehesa cattle production. *J. Clean. Prod.* **358**, 131918 (2022).
40. Niamir-Fuller, M. Towards sustainability in the extensive and intensive livestock sectors. *Rev. Sci. Tech.* **35**, 371–387 (2016).
41. HLPE. Sustainable agricultural development for food security and nutrition: what roles for livestock? (2016).
42. González, C. A. et al. Greenhouse gases emissions from the diet and risk of death and chronic diseases in the EPIC-Spain cohort. *Eur. J. Public Health* **31**, 130–135 (2021).
43. Sanz-Cobena, A. et al. Strategies for greenhouse gas emissions mitigation in Mediterranean agriculture: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* **238**, 5–24 (2017).
44. European Environment Agency. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2018 and inventory report 2020. (2020).
45. Ministerio Español para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Informe de inventario nacional gases de efecto invernadero: Comunicación al Secretariado de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. (2020).
46. Instituto Nacional de Estadística. Censo Agrario 2020.
47. Cussó Segura, X. & Garrabou Segura, R. La transición nutricional en la España contemporánea: las variaciones en el consumo de pan, patatas y legumbres (1850-2000). *Investig. Hist. Económica* **3**, 69–100 (2007).
48. Marrodán, M. D., Montero, P. & Cherkaoui, M. Transición Nutricional en España durante la historia reciente. *Nutr. clín. diet. hosp* 55–64 (2012).
49. OMS. Healthy diet fact sheet. 2015 Available at: OMS. (2015) Healthy diet fact sheet No 394. WHO, Geneva.
50. HLPE. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. (2014).
51. FAO. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. (2011).
52. Batlle-Bayer, L. et al. The Spanish Dietary Guidelines: A potential tool to reduce greenhouse gas emissions of current dietary patterns. *J. Clean. Prod.* **213**, 588–598 (2019).
53. MAPAMA (Ministerio de Agricultura Pesca Alimentación y Medio Ambiente). Bases zootécnicas para el cálculo del balance alimentario de nitrógeno y fósforo. Aves de carne. (2017).
54. MAPAMA (Ministerio de Agricultura Pesca Alimentación y Medio Ambiente). Bases zootécnicas para el cálculo del balance alimentario de nitrógeno y fósforo. Aves de puesta. (2017).
55. MAPAMA (Ministerio de Agricultura Pesca Alimentación y Medio Ambiente). Bases zootécnicas para el cálculo del balance alimentario de nitrógeno y fósforo. Porcino blanco. (2017).
56. MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación). Bases zootécnicas para el cálculo del balance alimentario de nitrógeno y fósforo. Ovino. (2019).
57. MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación). Bases zootécnicas para el cálculo del balance alimentario de nitrógeno y fósforo. Bovino. (2020).
58. Ambiente, M. (Ministerio de A. A. y M. Bases zootécnicas para el cálculo del balance alimentario de nitrógeno y fósforo. Équidos. (2015).
59. González de Molina, M. et al. Historia de la agricultura española desde una perspectiva biofísica, 1900-2010. (2019).
60. MAPA. Anuario de Estadística Agraria 1904-2018. (2020).
61. Del Grosso, S. et al. GLOBAL POTENTIAL NET PRIMARY PRODUCTION PREDICTED FROM VEGETATION CLASS, PRECIPITATION, AND TEMPERATURE. *Ecology* **89**, 2117–2126 (2008).
62. MAPAMA. Agricultura Ecológica. Estadísticas 2016. (2017).
63. Aguilera, E., Guzmán, G. & Alonso, A. Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. I. Herbaceous crops. *Agron. Sustain. Dev.* **35**, 713–724 (2015).
64. Aguilera, E., Guzmán, G. & Alonso, A. Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. II. Fruit tree orchards. *Agron. Sustain. Dev.* **35**, 725–737 (2015).
65. Infante-Amate, J. et al. Land embodied in Spain's biomass trade and consumption (1900–2008): Historical changes, drivers and impacts. *Land use policy* **78**, 493–502 (2018).
66. Chang, J. et al. Revisiting enteric methane emissions from domestic ruminants and their  $\delta^{13}\text{CCH}_4$  source signature. *Nat. Commun.* **10**, 1–14 (2019).
67. De Laurentiis, V., Galli, A. & Sala, S. Modelling the land footprint of EU consumption. (2022).
68. Poore, J. & Nemecek, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* (80-. ). **360**, 987–992 (2018).
69. Guzmán, G. I., González de Molina, M., Soto Fernández, D., Infante-Amate, J. & Aguilera, E. Spanish agriculture from 1900 to 2008: a long-term perspective on agroecosystem energy from an agroecological approach. *Reg. Environ. Chang.* **18**, 995–1008 (2018).
70. Aguilera, E., Guzmán, G. I., González de Molina, M., Soto, D. & Infante-Amate, J. From animals to machines. The impact of mechanization on the carbon footprint of traction in Spanish agriculture: 1900–2014. *J. Clean. Prod.* **221**, (2019).
71. Wernet, G. et al. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int. J. Life Cycle Assess.* **21**, 1218–1230 (2016).
72. Bossio, D. A. et al. The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nat. Sustain.* **3**, 391–398 (2020).
73. Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A. & Gimeno, B. S. Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* **168**, 25–36 (2013).
74. Aguilera, E. et al. A historical perspective on soil organic carbon in Mediterranean cropland (Spain, 1900–2008). *Sci. Total Environ.* **621**, 634–648 (2018).
75. Penuelas, J., Sardans, J., Alcañiz, J. & Poch, J. Increased eutrophication and nutrient imbalances in the agricultural soil of NE Catalonia, Spain. *J. Environ. Biol.* **30**, 841–846 (2009).
76. Sanz-Cobena, A. et al. Yield-scaled mitigation of ammonia emission from N fertilization: The Spanish case. *Environ. Res. Lett.* **9**, 125005 (2014).
77. Domingo, N. G. G. et al. Air quality-related health damages of food. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **118**, (2021).
78. MITECO. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero: Informe Resumen Edición 2020. (2020).
79. Misselbrook, T. H., Sutton, M. A. & Scholefield, D. A simple process-based model for estimating ammonia emissions from agricultural land after

- fertilizer applications. *Soil Use Manag.* **20**, 365–372 (2006).
80. Tubiello, F. N. et al. Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. *Environ. Res. Lett.* **16**, 065007 (2021).
  81. Tubiello, F. N. et al. Pre- and post-production processes increasingly dominate greenhouse gas emissions from agri-food systems. *Earth Syst. Sci. Data* **14**, 1795–1809 (2022).
  82. IPCC. 2019 Refinement of the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019).
  83. Chang, J. et al. Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands. *Nat. Commun.* **12**, 1–10 (2021).
  84. Conant, R. T., Cerri, C. E. P., Osborne, B. B. & Paustian, K. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecol. Appl.* **27**, 662–668 (2017).
  85. MITECO. Inventario Forestal Nacional. (2021).
  86. Hurrst, G. C. et al. Harmonization of global land use change and management for the period 850-2100 (LUH2) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.* **13**, 5425–5464 (2020).
  87. Mueller, N. D. et al. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature* **490**, 254–257 (2012).
  88. Carranza-Gallego, G. et al. Modern Wheat Varieties as a Driver of the Degradation of Spanish Rainfed Mediterranean Agroecosystems throughout the 20th Century. *Sustain.* 2018, Vol. **10**, Page 3724 10, 3724 (2018).
  89. MedECC. Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. (2020).
  90. Oria, I. *elEconomista.es: Últimátum de la UE a España por el estado de sus aguas. El Economista* (2020). Available at: <https://revistas.economista.es/agua/2020/septiembre/ultimatum-de-la-ue-a-espana-por-el-estado-de-sus-aguas-HG4392328>. (Accessed: 18th July 2021)
  91. Seufert, V. & Ramankutty, N. Many shades of gray - The context-dependent performance of organic agriculture. *Sci. Adv.* **3**, e1602638 (2017).
  92. Barański, M., Rempelos, L., Iversen, P. O. & Leifert, C. Effects of organic food consumption on human health: the jury is still out! *Food Nutr. Res.* **61**, (2017).
  93. Barański, M. et al. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *Br. J. Nutr.* **112**, 794–811 (2014).
  94. Barański, M., Rempelos, L., Iversen, P. O. & Leifert, C. Effects of organic food consumption on human health: the jury is still out! *Food Nutr. Res.* **61**, (2017).
  95. Hurtado-Barroso, S., Tresserra-Rimbau, A., Vallverdú-Queralt, A. & Lamuela-Raventós, R. M. Organic food and the impact on human health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **59**, 704–714 (2019).
  96. Finley, L., Chappell, M. J., Thiers, P. & Moore, J. R. Does organic farming present greater opportunities for employment and community development than conventional farming? A survey-based investigation in California and Washington. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* **42**, 552–572 (2018).
  97. Morison, J., Hine, R. & Pretty, J. Survey and analysis of labour on organic farms in the UK and republic of Ireland. *Int. J. Agric. Sustain.* **3**, 24–43 (2005).
  98. Alonso Mielgo, A. M., Sevilla Guzmán, E., Jiménez Romera, M. & Guzmán Casado, G. Rural development and ecological management of endogenous resources: The case of mountain olive groves in Los Pedroches Comarca (Spain). *J. Environ. Policy Plan.* **3**, 163–175 (2001).
  99. Larrubia Vargas, R., Natera Rivas, J. J. & Navarro Rodríguez, S. R. La producción ecológica de cítricos como estrategia de competitividad en los mercados saturados. Estructura productiva de las explotaciones en Andalucía. *Boletín la Asoc. Geógrafos Españoles* **71**, (2016).
  100. Bernal Cuenca, E. Comparación socioeconómica de las empresas agrarias de producción ecológica y convencional en Aragón, España: Problemas y oportunidades. *Mundo Agrar.* **11**, (2011).
  101. D'Annolfo, R., Gemmill-Herren, B., Graeub, B. & Garibaldi, L. A. A review of social and economic performance of agroecology. *Int. J. Agric. Sustain.* **15**, 632–644 (2017).
  102. Van der Ploeg, J. D. et al. The economic potential of agroecology: Empirical evidence from Europe. *J. Rural Stud.* **71**, 46–61 (2019).
  103. Mata, H. Caracterización y viabilidad de la producción ecológica en el noroeste de España. (Universidad de Córdoba, 2011).
  104. MAPA. Documento de partida: Apoyar una renta viable y la resiliencia de las explotaciones agrícolas en todo el territorio de la UE para mejorar la seguridad alimentaria. (2020).
  105. Lavín, P., Martínez, A., Osoro, K., Hernández, C. & Mantecón, A. R. Rentabilidad de las explotaciones de vacuno de carne en Asturias: efecto de la raza (Asturiana de los Valles vs Asturiana de la Montaña) y tipo de producción (convencional vs ecológica). *Arch. Zootec.* **65**, 453–456 (2016).
  106. Ruiz, F. A., Castel, J. M. & Mena, Y. Labour characterization of Andalusian goat farms. Future perspectives. *Options Méditerranéennes* **100**, (2011).
  107. Ruiz, F. A., Lara, C., Mena, Y. & Moreno, J. A. Caracterización de los sistemas de producción de la raza ovina Lojeña.
  108. Pardo, G. et al. Greenhouse-gas mitigation potential of agro-industrial by-products in the diet of dairy goats in Spain: a life-cycle perspective. *Anim. Prod. Sci.* **56**, 646 (2016).
  109. Uwizye, A. et al. Nitrogen flows in global pork supply chains and potential improvement from feeding swill to pigs. *Resour. Conserv. Recycl.* **146**, 168–179 (2019).
  110. Vauterin, A., Steiner, B., Sillman, J. & Kahiluoto, H. The potential of insect protein to reduce food-based carbon footprints in Europe: The case of broiler meat production. *J. Clean. Prod.* **320**, 128799 (2021).
  111. McDonald, S. E., Lawrence, R., Kendall, L. & Rader, R. Ecological, biophysical and production effects of incorporating rest into grazing regimes: A global meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* **56**, 2723–2731 (2019).
  112. Celaya, R. et al. Livestock Management for the Delivery of Ecosystem Services in Fire-Prone Shrublands of Atlantic Iberia. *Sustainability* **14**, 2775 (2022).
  113. Rouet-Leduc, J. et al. Effects of large herbivores on fire regimes and wildfire mitigation. *Journal of Applied Ecology* **58**, 2690–2702 (2021).

114. Smith, L. G., Kirk, G. J. D., Jones, P. J. & Williams, A. G. The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nat. Commun.* **10**, 1–10 (2019).
115. Tilman, D. & Clark, M. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature* **515**, 518–522 (2014).
116. Sun, Z. et al. Dietary change in high-income nations alone can lead to substantial double climate dividend. *Nat. Food* **3**, 29–37 (2022).
117. Poux, X. (IDDRI) & Aubert, P.-M. (IDDRI). An agroecological Europe in 2050: multifunctional agriculture for healthy eating. Findings from the Ten Years For Agroecology (TYFA) modelling exercise. (2018).
118. Jackson, P. et al. Food as a commodity, human right or common. *Nat. Food* (2021). doi:10.1038/s43016-021-00245-5
119. FAO. Seguridad y soberanía alimentaria. (2013).
120. Rivera-Ferre, M. G. Supply vs. demand of agri-industrial meat and fish products: a chicken and egg paradigm? *Int. J. Sociol. Agric. Food* **16**, 90–105 (2009).
121. Greenpeace. Feeding the problem: the dangerous intensification of animal farming in Europe. (2019).

## NOTAS

- A - Alimentos como derecho humano: Incluido en la Declaración Universal de los Derechos Humanos de 1984. Anderson (2008) describe la perspectiva del derecho a la alimentación en términos de participación democrática en la elección de los sistemas alimentarios; acceso justo y transparente a todos los recursos necesarios para la producción y comercialización; la presencia de compradores diversos e independientes; la ausencia de explotación humana y sobreexplotación de recursos; y que no haya afectación alguna de capacidad de las personas de otros lugares para cumplir estos criterios”118 (p.1).
- B - Seguridad alimentaria: traducción del término “food security” en inglés. “Se da cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana”119. Remarcar la diferencia con el término “food safety”, también seguridad alimentaria en castellano, que hace referencia a la inocuidad y calidad de los alimentos y formaría parte de la dimensión uso de la “food security”.
- C - El uso de N en los cultivos se ha incrementado en más de un 800% desde los años 60, frente al 240% de incremento de la producción en el mismo período y el 150% de incremento de la población3.
- D - Es importante señalar que gran parte de estos pastizales eran originalmente estepas, praderas o sabanas naturales que actualmente se gestionan con ganadería extensiva y que se comportan en gran medida como ecosistemas naturales.
- E - Las métricas responden a las necesidades y objetivos de análisis, así por ejemplo, en un contexto de sequía o degradación de recursos naturales pueden ser más interesantes indicadores que tengan en consideración los recursos naturales utilizados (kg producidos por litro de agua consumido) mientras que en contextos de inseguridad alimentaria pueden ser más relevantes métricas de productividad en kg de producto/ha (en caso de desnutrición) o de calidad nutricional/ha (en caso de dietas de baja calidad).
- F - La tendencia global hacia un mayor consumo de carne se explica por el crecimiento de la población mundial, el incremento del PIB de los países en vías de desarrollo, ligado a procesos de migración a las ciudades y adopción de un estilo de vida urbano, junto con una industrialización y adopción de economía de escala que han permitido reducir de forma considerable el precio de los productos cárnicos, todo ello favorecido por el impulso de la producción industrial a través de políticas que benefician la intensificación (Rivera-Ferre, 2009). Es importante señalar que el bajo coste no es real, pues la producción intensiva e industrial externaliza los costes sociales, sanitarios y ambientales que genera, y que son posteriormente pagados por la sociedad en forma de enfermedad, pérdidas de empleo o empleos de baja calidad, y contaminación ambiental.
- G - Las gases asociados a la ganadería son: el CH<sub>4</sub>, el más importante en términos de su contribución al cambio climático, resultante de la fermentación entérica y en mucha menor proporción de la gestión de deyecciones; el N<sub>2</sub>O, se origina por la utilización de fertilizantes en la producción de piensos/forrajes y por la gestión de deyecciones; y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asociado al uso de combustibles fósiles y a la deforestación generada por la expansión de tierras de cultivos y pastos.
- H - En este trabajo se usan estos escenarios con el objetivo de mostrar las limitaciones de un enfoque únicamente sectorial. Desde la agroecología no se contemplaría un escenario AE\_Agri, dado que la agroecología por definición tiene un enfoque complejo de sistema agroalimentario.
- I - Se refiere a actividades pre- y post- producción agraria, en las que se incluirían la producción de insumos (fertilizantes, pesticidas, pienso, etc.), el procesado de alimentos, el transporte, la comercialización y el consumo.
- J - <https://www.nutricioncomunitaria.org/es/otras-publicaciones>



# Amigos de la Tierra

“Somos una asociación ecologista sin ánimo de lucro con la misión de fomentar un cambio local y global hacia una sociedad respetuosa con el medio ambiente, justa y solidaria. Somos un grupo de personas que defendemos la justicia social y ambiental; creemos firmemente que el centro de las políticas han de ser las personas y La Tierra. Así, denunciemos y presionamos a empresas y administraciones, a la vez que proponemos diversas soluciones

*para lograr un mundo más justo.”*