



Ciencia para
las Políticas
Públicas

Producir alimentos sin agotar el planeta

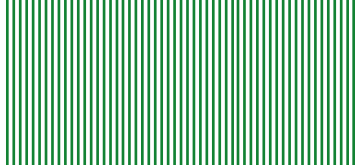
Coordinado por:

Isabel Medina · M. Dolores del Castillo · Óscar Martínez Álvarez
Eduardo Moyano Estrada · Amparo Querol · M. Victoria Moreno-Arribas



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

SCIENCE  POLICY



Ciencia para las Políticas Públicas



Informe de transferencia
de conocimiento



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

SCIENCE **4** POLICY

Este es un libro de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional [CC BY 4.0].
Más información sobre esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:
<https://cpage.mpr.gob.es>

EDITORIAL CSIC: <http://editorial.csic.es> (correo: publ@csic.es)



**Departamento
de Comunicación**

Gabinete de Presidencia
Consejo Superior de
Investigaciones Científicas
Calle Serrano 117
28006 Madrid
Email: comunicacion@csic.es

NIPO: 833-23-079-0

e-NIPO: 833-23-080-3

Depósito Legal: M-20232-2023

Edición no venal

Coordinado por:

Isabel Medina
Óscar Martínez Álvarez
M. Dolores del Castillo
Eduardo Moyano Estrada
Amparo Querol
M. Victoria Moreno-Arribas

**Coordinador de la colección
Ciencia para las Políticas
Públicas:**

Alberto Mercado

Edición:

María González

Fotógrafos:

César Hernández
CSIC Comunicación

Infografía:

Yolanda Clemente

Ilustración:

Irene Cuesta

Diseño y maquetación:

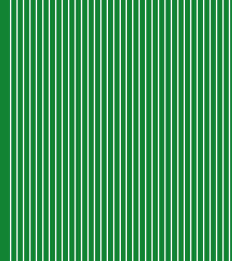
David Pamplona Roche

Impreso en España. *Printed in Spain*

En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma sostenible.



Esta obra está bajo una Licencia Creative
Commons Atribución 4.0 Internacional.



El CSIC tiene entre sus funciones la de informar, asistir y asesorar en materia de ciencia y tecnología a entidades públicas y privadas, según recoge el artículo 5 de su Estatuto. Enmarcado en esta función, el informe *Producir alimentos sin agotar el planeta*, de la colección Ciencia para las Políticas Públicas, se presenta como un documento dirigido a administraciones y a la sociedad en general. Explica la crisis alimentaria actual con los factores que la han ocasionado y sus consecuencias. Presenta el impacto que la producción alimentaria origina en nuestro planeta, y viceversa: la influencia de un planeta cambiante en el abastecimiento de alimentos. Por último, apunta algunas de las líneas de innovación más destacadas del organismo para resolver los retos planteados.

ÍNDICE

uno

|||||

Cómo se producen alimentos

- 1.1. La producción primaria y nuestro planeta
- 1.2. La cadena alimentaria y el sistema alimentario
- 1.3. Por qué tenemos que transformar nuestra manera de producir alimentos
- 1.4. La producción de alimentos debe ser social y económicamente rentable y sostenible

dos

|||||

Cómo contribuye la ciencia a producir suficientes alimentos sin dañar el planeta

- 2.1. Producción primaria sostenible
- 2.2. Innovación en la industria alimentaria y desarrollo de negocio
- 2.3. Gestión integrada consumidores-academia-industria

tres

|||||

Conclusiones y recomendaciones

cuatro

|||||

Listado de centros





uno



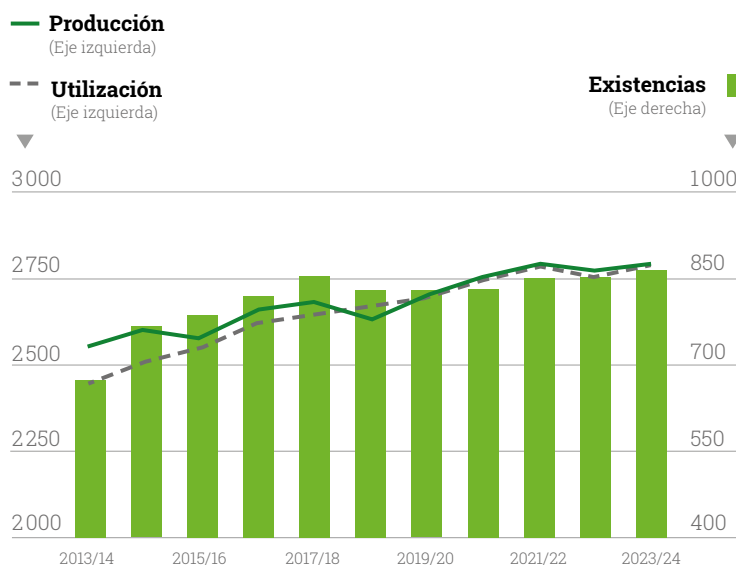
Cómo se producen los alimentos

DESDE tiempos inmemoriales, la humanidad ha estado preocupada por disponer de suficientes recursos para alimentar a una población en crecimiento. El economista británico Thomas Malthus, en su famoso *Ensayo sobre el principio de la población* (1798), ya pronosticaba que únicamente **«las guerras y las epidemias podrían corregir el hambre, ya que reducirían la población a un tamaño manejable»**.

Las políticas alimentarias de los países deben garantizar una cantidad suficiente y variada de alimentos inocuos y de buena calidad para nutrir de manera adecuada a la población. Para satisfacer esta demanda, los gobiernos, especialmente de aquellos países con rentas bajas y déficit alimentario, y que además son los países más poblados, fomentan un aumento de la producción de los alimentos. Esto implica el desarrollo de la agricultura, la ganadería, la pesca y la acuicultura como actividades productivas básicas. Claramente, quienes toman decisiones en estos sectores de producción primaria, así como en las otras etapas de la cadena alimentaria, deben tener presentes las necesidades nutricionales de la población y entender las implicaciones en la seguridad nutricional de sus acciones.

Gráfico 1.1 Producción, utilización y existencias de cereales

FAO



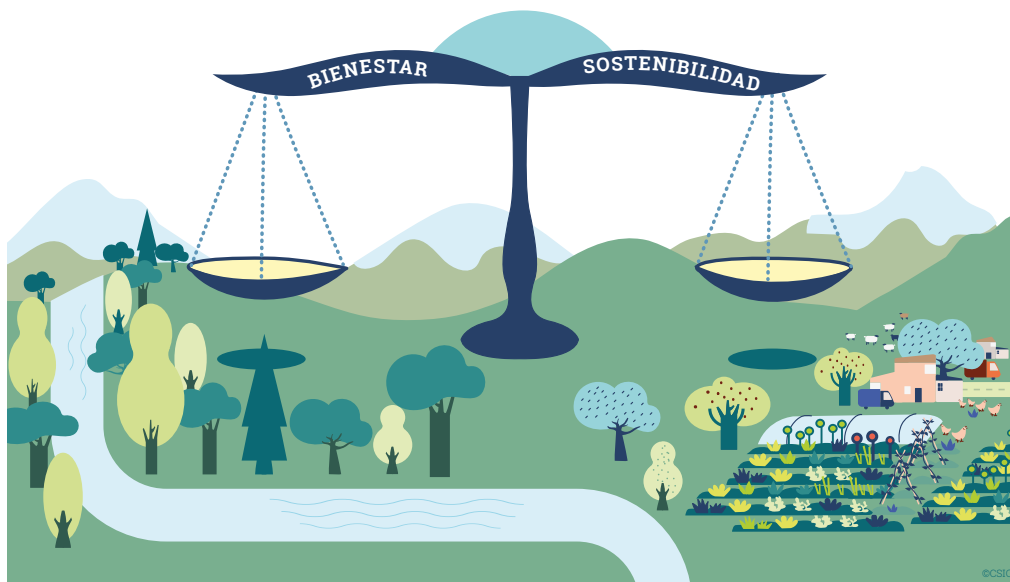


11.

La producción primaria y nuestro planeta

ACTUALMENTE, la mayoría de los alimentos en el mundo proceden de los cereales y solo tres cultivos son el alimento básico para toda la población global, cerca de ocho mil millones de personas: el arroz, el maíz y el trigo. El segundo gran conjunto de alimentos proviene de cosechas de cosechas de raíces, bulbos y tubérculos, como la patata, la cebolla y la remolacha; y el tercero de legumbres o leguminosas, como las lentejas y las judías. El mundo produce aproximadamente 3070 millones de toneladas de cereales, 876 millones de toneladas de cosechas de raíces y 90 millones de toneladas de legumbres por año, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Sin embargo, las crisis recientes, la epidemia de la covid-19 y la guerra de Ucrania han puesto en evidencia el riesgo para garantizar el acceso de toda la población a los alimentos, debido a esta dependencia de unos pocos cultivos. La FAO establece 1800 kilocalorías (kcal) como el mínimo de energía que se requiere diariamente. Las personas subnutridas, en situación de inseguridad alimentaria crónica, son aquellas que no pueden acceder a este mínimo de energía diaria. Los requerimientos difieren para poblaciones con diversos estilos de vida y niveles de actividad física habitual. Se necesitan sistemas alimentarios sostenibles para satisfacer las necesidades nutricionales de todas las personas y contribuir al crecimiento económico y la conservación de los valiosos recursos naturales necesarios para la productividad futura.

En realidad, a lo largo de la historia, los agricultores y los pescadores han aumentado continuamente la producción, con un ritmo de crecimiento superior al de la población y al de los ingresos. Las actividades agrícolas, ganaderas y pesqueras se han expandido y han ocupado mayores extensiones de terreno y de agua. Y desde mediados del siglo xx hasta la fecha, la población mundial se ha duplicado, lo que ha ido acompañado de un incremento todavía superior de la producción de alimentos. Asimismo, desde finales del siglo pasado hemos sido testigos de la intensificación de la producción agrícola y ganadera basadas

Gráfico 1.2 Sistema alimentario sostenible

Para el desarrollo de una producción de alimentos sostenible y productiva que garantice una estabilidad alimentaria, se debe llegar a grandes acuerdos que equilibren el bienestar de la sociedad y la sostenibilidad de los sistemas de producción. Es imprescindible el compromiso de diferentes actores sociales y políticos junto con la educación y la investigación. / IRENE CUESTA (CSIC) Y RAWPIXEL.

en innovaciones como la utilización de fertilizantes sintéticos, variedades mejoradas y productos químicos para la protección de cultivos y de la salud del ganado. Se han adoptado mejores prácticas, como la rotación de cultivos para preservar los suelos y el riego localizado para mejorar el uso del agua. En el caso de la pesca, se han explotado nuevas tecnologías y la expansión de la acuicultura está aumentando la producción de especies marinas y acuícolas. Estas innovaciones han permitido un aumento de la producción sin aumentar el uso de suelo y agua, y la generación de alimentos de una gran calidad, pero en muchas ocasiones a costa de un uso excesivo de los recursos naturales.



Somos testigos de las profundas e imparables transformaciones que está sufriendo el planeta. La escasez y la competencia por recursos naturales limitados, como el agua y la mayor demanda de energía están poniendo en riesgo las actividades del sector primario para la producción de alimentos, como la ganadería y la agricultura. Y viceversa: la producción alimentaria impacta en el clima y en el propio planeta. La agricultura, motor fundamental de desarrollo económico y elemento básico de articulación social, origina en el planeta más del 20 % de las emisiones de gases de efecto invernadero y un consumo total de agua del 70 %, según la FAO. Además, un tercio de toda la producción agrícola global se desaprovecha y, a pesar de ello y del incremento constante de las explotaciones, el hambre en el mundo alcanza a 700 millones de personas.

Los factores medioambientales y la globalización son determinantes en la producción y el suministro de alimentos. Las variaciones extremas de temperatura y la grave escasez de agua para el riego, unida a las inundaciones, aumentan el riesgo de erosión del terreno cultivable y disminuyen la superficie productiva agrícola. Estos cambios en el clima fomentan la aparición de nuevas plagas y enfermedades que también afectan de manera importante a la producción. Las variaciones climáticas, especialmente la lluvia, la falta de ella y el tiempo inclemente, conllevan, además, problemas como la necesidad de contar con un almacenamiento especial de los alimentos. En determinadas ocasiones, el aumento de los precios puede estar ligado al coste de almacenamiento de los alimentos y a la falta de una organización eficiente de las reservas oficiales de los mismos.

En este contexto, las políticas alimentarias de la Unión Europea (UE), y en general las políticas de los países de todo el mundo, han pasado de centrarse, principalmente, en el aumento de la productividad y la eficiencia, a tener en cuenta más factores e inquietudes sociales y medioambientales. El gran reto de los próximos treinta años es **alimentar a más población con menos recursos hídricos, y mejor uso del suelo, en un entorno de sociedades globalizadas y urbanitas.**

Gráfico 1.3 Actividades humanas emisoras de gases de efecto invernadero

WORLD RESOURCES INSTITUTE

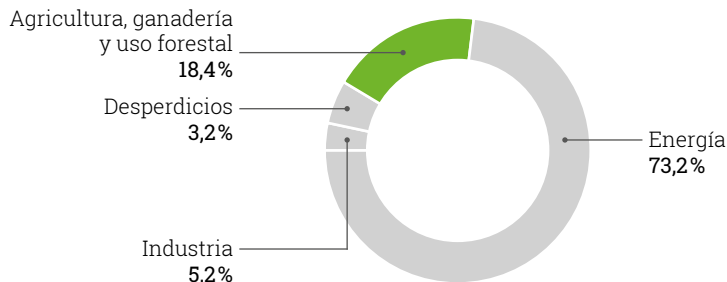


Gráfico 1.4 Elementos de seguridad del sistema de alimentación

1. ENERGÍA

Generalmente, la **seguridad energética** se define como «la disponibilidad ininterrumpida de energía a un precio asequible». Sin embargo, una definición más compleja considera la necesidad de un abastecimiento energético que sea sustentable y diverso.

4. TIERRA

La **seguridad de la tierra** implica la disponibilidad de áreas aptas para el cultivo y el pastoreo, sin menoscabo de otras áreas necesarias para la sustentabilidad de la flora y la fauna.

2. ALIMENTOS

La **seguridad alimentaria** existe cuando las personas tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos. Estos alimentos han de satisfacer sus necesidades energéticas diarias y sus preferencias alimentarias para llevar una vida activa y saludable.

3. AGUA

La **seguridad del agua** es la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua con una calidad aceptable para sostener sus medios de vida, bienestar y desarrollo económico.



LA ENERGÍA Y LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS (NELSÓN HERNÁNDEZ, 2017)

IRENE CUESTA (CSIC) Y RAWPIXEL



1.2.

La cadena alimentaria y el sistema alimentario

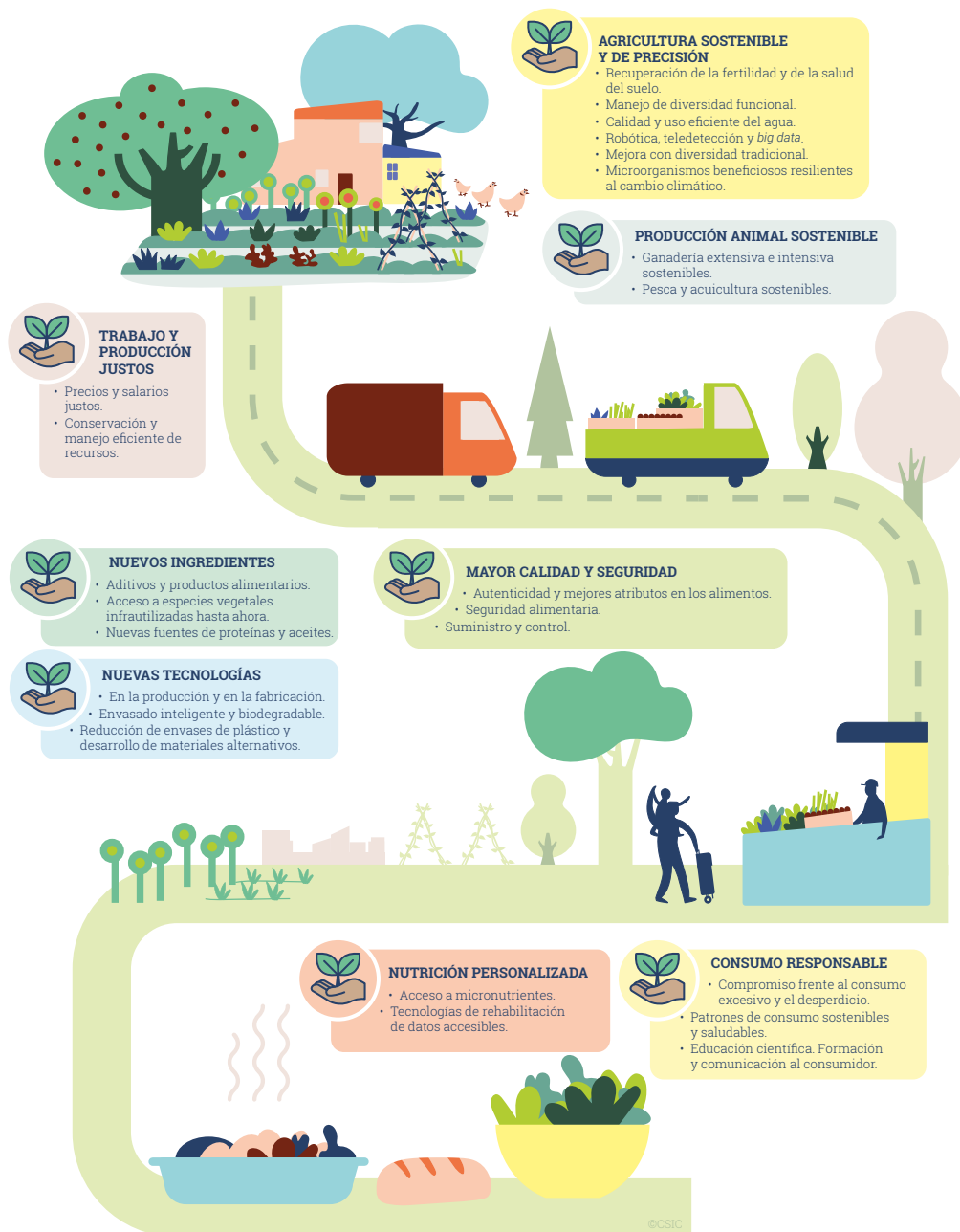
La cadena alimentaria de un alimento engloba todas las etapas de producción del mismo, es decir, todos los eslabones o acontecimientos que van desde la producción a la transformación, la comercialización, la distribución y el consumo. Literalmente, del campo a la mesa. La noción de *cadena* alude al incremento de valor a medida que se suman procesos. Incluye el cuidado del producto, asegurando las buenas condiciones de calidad e higiene para su consumo. En el caso de productos alimenticios procesados, implica los distintos pasos en la cadena productiva, desde la producción primaria, el sector industrial o de transformación, hasta los sectores de distribución o comercialización.

La Comisión Europea, consciente de los graves problemas que afronta la producción mundial de alimentos y del planeta, ha publicado recientemente su estrategia **De la Granja a la Mesa** (*From Farm to Fork*, en inglés), basada en la **cadena alimentaria**. En su compromiso con el medioambiente y la protección de la salud del planeta, esta estrategia europea se engloba en el **Pacto Verde** (*Green Deal*, en inglés). Plantea como desafíos para el año 2030, **reducir en un 50% el uso de pesticidas, un 20% el uso de fertilizantes, un 50% el uso de antimicrobianos en animales de granja y acuicultura y alcanzar el 25% de agricultura ecológica en las tierras cultivables**.

En una escala superior, recientemente las políticas europeas e internacionales han planteado una política de investigación e innovación dirigida a una **alimentación 2030**, en la que el protagonista es el sistema alimentario. **El sistema alimentario se refiere al conjunto de actividades, infraestructuras y procesos interconectados e involucrados en la alimentación de la población:** cultivo, producción, procesamiento, transporte, consumo y gestión de los residuos de los alimentos. El sistema alimentario constituye una estructura de mayor envergadura que engloba, por tanto, los distintos eslabones de la cadena alimentaria.

Para la FAO, los sistemas alimentarios sostenibles son «aquellos que garantizan la seguridad alimentaria y la nutrición de todas las personas, de tal forma que no se pongan en riesgo las bases económicas, sociales y ambientales de estas para las futuras ge-

Gráfico 1.5 Estrategia De la Granja a la Mesa y aproximación del CSIC



Política europea Food 2030: La política de investigación e innovación de la UE para transformar los sistemas alimentarios y garantizar que todos tengan suficientes alimentos nutritivos y asequibles para llevar una vida saludable.

El Pacto Verde europeo: Este pacto, aprobado en 2020, es un conjunto de iniciativas políticas de la UE destinadas a conseguir que la región sea climáticamente neutral en 2050.

La estrategia De la Granja a la Mesa: En el marco del Pacto Verde Europeo, la UE lanzó en mayo de 2020 la estrategia De la Granja a la Mesa, desde la producción al consumidor, que tiene como objetivo garantizar una cadena de valor alimentaria sostenible.

La estrategia de bioeconomía: El conjunto de las actividades económicas que obtienen productos y servicios, generando valor económico y utilizando, como elementos fundamentales los recursos de origen biológico, de manera eficiente y sostenible, conforma la estrategia de la UE.

neraciones». El aumento poblacional y el cambio climático harán que **necesitemos producir más alimentos y de una manera más eficiente, mediante la optimización del uso de recursos naturales, especialmente el agua, y la conservación de la calidad y salud de los suelos.**

A estos retos se une **la rentabilidad**, donde reside uno de los desafíos más importantes. Por ello, se debe favorecer el desarrollo de nuevos sistemas de producción con un menor coste energético. La Comisión Europea insiste en que los sistemas alimentarios del mundo deben transformarse para hacer que **«las dietas más saludables sean más accesibles para todos, al tiempo que aumentan la sostenibilidad y la resiliencia de estos sistemas»**. Esta idea está alineada con los Objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción que plantea 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con 169 metas que abarcan las esferas económica, social y ambiental.



ADOBE STOCK



Atributos que caracterizan un sistema alimentario sostenible:

- Productivo y próspero (disponibilidad de alimentos suficientes)
- Equitativo e inclusivo (acceso de todas las personas a alimentos y medios de vida)
- Empoderador y respetuoso (todas las personas pueden tomar decisiones y ejercer su voz)
- Resiliente (estabilidad frente a choques)
- Regenerativo (sostenibilidad en todas sus dimensiones)
- Saludable y nutritivo (absorción y utilización de nutrientes)



13.

Por qué tenemos que transformar nuestra manera de producir alimentos

NUESTROS sistemas alimentarios actuales son insostenibles. Las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la producción mundial de alimentos podrían contribuir a incrementar la temperatura global del planeta en 1,5 °C en 2050 y casi 2 °C a finales de siglo, incluso si las emisiones de los combustibles fósiles se frenasen inmediatamente.

Estos datos se refieren tanto a las emisiones vinculadas a la producción de ganado y cultivos como a los cambios en el uso del suelo, y también a la fabricación, el procesamiento, el almacenamiento, el transporte y la eliminación de residuos. Asimismo, la degradación del suelo agrícola no solo afecta negativamente a la productividad, sino que además disminuye la capacidad del mismo para absorber carbono, agravando el cambio climático. Y el cambio climático, a su vez, aumenta la degradación del suelo en un círculo vicioso que hace necesaria la adaptación de la agricultura a nuevos modelos de sostenibilidad que permitan proveer de alimentos vegetales a la población.

Por otra parte, el sector ganadero, fundamental para garantizar el abastecimiento de alimentos, puede afectar negativamente al medioambiente. La producción ganadera intensiva ocasiona deforestación por talas en busca de nuevos pastos, un gran gasto de agua, genera polución asociada a los purines y hace que haya una escasa rotación de cultivos destinados a la producción de cereales para piensos. Y en cuanto a la producción pesquera, aunque hoy en día solo el 2 % de los alimentos destinados a consumo humano se produce en los océanos, la realidad es que el 30 % de las poblaciones de peces están sobreexplotadas, muchas de ellas de manera insostenible. La creciente demanda de alimentos marinos derivada del aumento poblacional provoca un aumento de la presión sobre la mayoría de las especies comerciales, lo que hace necesario avanzar hacia la sostenibilidad de las pesquerías con medidas económicas, sociales y ambientales responsables. A ello se une un incremento extraordinario de la acuicultura, con la consiguiente demanda de proteínas y aceites para la fabricación de piensos.

Los sistemas alimentarios del mundo están afectados y afectan a:

- El cambio climático
- La escasez de recursos
- La contaminación y desperdicio
- La degradación del medioambiente
- La pérdida de la biodiversidad
- El crecimiento de la población
- La malnutrición y enfermedades derivadas de la dieta



ADOBE STOCK

Gráfico 1.6 Cómo afecta la crisis climática a la agricultura y a la seguridad alimentaria

FUNDACIÓN AQUAE



CSIC



Un sistema alimentario sostenible:

- Resulta **rentable** en todas sus etapas (sostenibilidad económica)
- Proporciona amplios **beneficios para la sociedad** (sostenibilidad social)
- Tiene una repercusión positiva o neutra en el **entorno natural** (sostenibilidad ambiental)
- Debe tratar de asegurar que las personas a las que provee de alimentos **maximizan con ellos su salud** a largo plazo (sostenibilidad nutricional)



ISTOCK



Objetivos del nuevo marco de la política europea Food 2030:

- Nutrición adecuada para las dietas sostenibles y saludables
- Sistemas alimentarios como base de un planeta saludable
- Economía circular y aprovechamiento eficiente de los residuos
- Empoderamiento e innovación de las comunidades



CSIC

Los factores anteriormente citados se ven exacerbados por la fragmentación de los sistemas alimentarios y la incoherencia de las políticas alimentarias. La UE, a través de sus **políticas relativas a la alimentación 2030**, proporciona los marcos para acelerar la transición de la forma de producir alimentos dentro de límites planetarios seguros y sostenibles. Estas políticas están en línea con los objetivos del **Pacto verde europeo**, la estrategia **De la Granja a la Mesa** y la estrategia de **bioeconomía**, y los respaldan.

La sostenibilidad alimentaria debe entenderse en sus diferentes vertientes de **perdurabilidad ambiental, social, nutricional y económica**. Los procesos de producción tienen que sustentarse económicamente hasta conseguir un alto grado de autonomía, alcanzando la sostenibilidad económica y ambiental. Asimismo, deben contemplar y cumplir criterios de justicia social y lucha contra la precariedad, y contribuir de esta forma a una mayor sostenibilidad social del sistema. De manera intrínseca, **los procesos han de preservar el planeta, en la medida de lo posible, para contribuir a la sostenibilidad ambiental del conjunto**. Y, finalmente, deben tratar de asegurar que las personas a las que provee de alimentos maximizan con ellos su salud a largo plazo,



- Las **pérdidas de alimentos** se definen como «la disminución de la cantidad o calidad de los alimentos como resultado de las decisiones y acciones de los proveedores en la cadena alimentaria, excluyendo a los minoristas, proveedores de servicios de alimentos y consumidores».
- El **desperdicio de los alimentos** se relaciona con la disminución en la cantidad o calidad de los alimentos como resultado de las decisiones y acciones de los minoristas, proveedores de servicios alimentarios y consumidores.

de esta manera se promueve la sostenibilidad nutricional. Este último aspecto de sostenibilidad nutricional se tratará con detalle en el volumen *Nutrición sostenible y saludable*, de la colección Ciencia para las Políticas Públicas.

Las políticas alimentarias de todos los países establecen una serie de objetivos urgentes con unas connotaciones comunes para alcanzar la sostenibilidad alimentaria. Estos objetivos consisten en producir alimentos de forma más eficiente, ayudar a los productores de los países de bajos ingresos a aumentar su rendimiento, comer alimentos más sanos, evitar el exceso de comida y desperdiciar menos alimentos. Además, es preciso considerar que factores como los niveles de alimentos almacenados y las pérdidas poscosecha por plagas y enfermedades, descomposición, altas temperaturas, etc., pueden afectar en gran medida al suministro alimentario. La reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos es también parte integral del plan de acción **De la Granja a la Mesa**.



ISTOCK

14.

La producción de alimentos debe ser social y económicamente rentable y sostenible

Uno de los requisitos fundamentales de los sistemas alimentarios sostenibles es que se sustenten económicamente y cumplan los criterios de justicia social, con el fin de contribuir a la sostenibilidad socioeconómica del sistema. El principio de la sostenibilidad en los sistemas alimentarios se define, genéricamente, como aquel que orienta las decisiones de los productores para asegurar la rentabilidad de sus explotaciones (dimensión económica), la preservación de su base material (dimensión ambiental) y la mejora del bienestar de la población rural (dimensión social).

Parece haber un amplio consenso internacional sobre la necesidad de tener en cuenta las tres dimensiones de la sostenibilidad. No es posible asegurar el bienestar de las generaciones futuras si se atiende solo a la preservación del medioambiente. Los modelos de desarrollo deben garantizar un crecimiento económico sostenido y equilibrado desde el punto de vista territorial y equitativo para las poblaciones que habitan nuestro planeta. Si las explotaciones agrarias, ganaderas o acuícolas no son rentables ni generan suficientes beneficios para sus propietarios, no será posible una agricultura respetuosa con el medioambiente y proactiva en la lucha contra los efectos del cambio climático.

Asimismo, no se podrá contribuir a resolver el problema de la despoblación de muchas zonas rurales si la agricultura no se vincula con el territorio en esas zonas y sirve de impulso al desarrollo local. Otro aspecto fundamental es la lucha contra el abandono rural mediante la inversión en infraestructuras básicas y alentando políticas que promuevan la integración de distintos sistemas de producción, la transferencia de conocimiento y la innovación. Todo ello mediante la colaboración con el sector privado para avanzar en el compromiso de la producción sostenible. Entre los aspectos sociales que se deben considerar, también es crucial la promoción de un consumo responsable.

Se pueden analizar estas tres dimensiones de la sostenibilidad —económica, ambiental y social— desde dos puntos de vista. Por un lado, el de los intereses individuales, a través del análisis de las estrategias utilizadas por los productores para optimizar las inversiones, racionalizar el uso de los insumos y obtener el ma-

por beneficio posible de su actividad. Por otro, desde el ámbito de los intereses generales, mediante el estudio de las políticas públicas orientadas al logro de los ODS.

En la práctica, sin embargo, no siempre los intereses individuales coinciden con los generales en materia de sostenibilidad, ya que el objetivo empresarial en favor de una alimentación sostenible diverge, en no pocas ocasiones, de los ODS de la Agenda 2030.

Ante esta situación, pueden surgir desavenencias a la hora de abordar la sostenibilidad. Esto se refleja tanto en lo que se refiere a las estrategias empresariales de los productores como en el modo en que los poderes públicos definen las metas del desarrollo sostenible, formulan las políticas adoptadas para alcanzarlas y marcan los ritmos y plazos para su puesta en marcha.

En la UE, el programa de los ecorregímenes agrarios para luchar contra el cambio climático e impulsar una agricultura baja en carbono, o las condicionalidades ambientales y sociales incluidas en la nueva PAC (Política Agraria Común) son un buen ejemplo de acciones públicas dirigidas a la sostenibilidad agraria. En España, la *Ley 16/2021 para mejorar el funcionamiento de la cadena alimentaria*, el proyecto de *Ley de prevención de las pérdidas del desperdicio alimentario* y el *Real Decreto 1051/2022 por el que se establecen normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios* son claros ejemplos de acciones públicas para la sostenibilidad de la cadena alimentaria.

En resumen, las tres dimensiones de la sostenibilidad afectan a los modelos de producción de alimentos, pero no a todos de igual modo. La acción individual y la acción pública son elementos fundamentales para avanzar hacia modelos más sostenibles de producción y distribución de alimentos. En ellos se contempla tanto la rentabilidad económica como el equilibrio de los ecosistemas y la equidad social y territorial.



La Agenda 2030 para el Desarrollo

Sostenible incluye los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los ODS dan forma a los planes de desarrollo nacional por los próximos quince años. Erradicar la pobreza y el hambre, combatir el cambio climático y proteger nuestros recursos naturales, la alimentación y la agricultura están en el centro de la Agenda de 2030.

dos



Cómo contribuye la ciencia a producir suficientes alimentos sin dañar el planeta

2.1.

**Producción
primaria
sostenible**

COMO se ha expuesto anteriormente, la humanidad se enfrenta al reto ineludible de encaminarse hacia un futuro más sostenible. En un contexto global, los sistemas alimentarios tienen además el gran reto de satisfacer una demanda creciente de alimentos de calidad para toda la población, al mismo tiempo que se generan escenarios económica y socialmente sostenibles.

El CSIC tiene como objetivo avanzar hacia una innovación que sea capaz de integrar la perspectiva medioambiental y social mediante la combinación de la investigación básica y aplicada más puntera, aportando soluciones a los impactos de la agricultura y la producción animal, tanto terrestre como acuícola. A continuación, se analizan algunos de los avances de las investigaciones de la institución desde un marco amplio de la sostenibilidad, concebido en sus distintas vertientes y teniendo en cuenta las necesidades de las próximas generaciones y que cualquier solución sostenible tiene que serlo en todo el planeta.

Sistemas de producción agrícola

La necesaria evolución de los modelos agrícolas para producir suficientes alimentos y de alta calidad requiere una transformación del sistema que frene la degradación de los suelos y el impacto de la erosión, mediante la protección y el fomento de la biodiversidad vegetal y animal. Al mismo tiempo, es necesario gestionar mejor los recursos disponibles, priorizando el uso de los recursos locales y la conservación de especies y espacios naturales. Todo ello sin provocar un aumento de precios que condicione el acceso de la población a determinados alimentos. Debe resaltarse el papel de los agricultores y el patrimonio agrícola, este último fundamental para sectores socioeconómicos como el turismo y la cultura y para el bienestar social.



La inclusión de las TIC en la agricultura, la ganadería y la pesca permite mejorar diferentes condiciones de estas actividades. /iStock

La ciencia ha demostrado que es posible combinar prácticas agrícolas sostenibles que preserven la calidad y las funciones óptimas de los suelos y la vegetación a pequeña escala, sin que haya efectos negativos o incluso a través del aumento de la productividad. El CSIC lidera los estudios en agroecosistemas a gran escala destinados a desarrollar una **agricultura extensiva e intensiva sostenible**. A través del enfoque de los servicios ecosistémicos, se aborda el problema de la producción de alimentos, piensos, fibras, combustibles y materias primas para diferentes usos industriales, así como la regulación y soporte de los sistemas naturales, el clima, el suministro de agua, la polinización o el control de plagas y patógenos de plantas.

Las capacidades transversales del CSIC en el análisis económico y social de las prácticas agrícolas y la relación coste-beneficio, mediante la consideración de cuestiones medioambientales relacionadas con las actividades agrícolas, sirven de apoyo a las políticas regionales e internacionales y al desarrollo empresarial sostenible, basado en la comunicación eficaz ciencia-política y ciencia-empresa.

- **Conservación de la biodiversidad.** Los grupos de la institución trabajan en la caracterización de la **biodiversidad y la salud y funcionalidad del suelo, el ecosistema y el paisaje agroforestal** para identificar las prácticas más innovadoras. A esto se unen las infraestructuras de investigación para seguimiento, predicción y alerta temprana de riesgos naturales, con la integración de la teledetección y la modelización. En este ámbito hay que tener en cuenta también las infraestructuras que permitan un sistema de riego más eficiente, así como el desarrollo de nuevos métodos de depuración de agua.
- **La mejora genética.** Una de las herramientas más eficaces para aumentar la resistencia de los cultivos al cambio climático y lograr el aprovechamiento de los recursos vegetales y animales, es la diversificación de cultivos. El CSIC trabaja con los nuevos enfoques que proporcionan la **biotecnología y la mejora genética** con este objetivo. Estas investigaciones también promueven la explotación de la variabilidad genética local no explorada hasta ahora en España y la búsqueda de nuevas variedades y cultivos más resistentes a la sequía y al estrés hídrico, más productivos y de alta calidad. La aplicación de tecnologías *ómicas* de alto rendimiento —la genómica, la transcriptómica, la proteómica y la metabolómica, entre las principales—, apoyadas por enfoques bioinformáticos de una capacidad sin precedentes, y de herramientas innovadoras —como la biología sintética en especies agrícolas, plantas modelo y cultivadas—, contribuyen al desarrollo de cultivos para producir alimentos, productos y piensos a la carta, altamente demandados por la agricultura y la industria.

- **Sanidad vegetal y animal.** Un ámbito de trabajo esencial en el CSIC es el **del control de plagas y patógenos**. A pesar de los esfuerzos realizados en las últimas décadas para prevenir las invasiones biológicas, las plagas y los patógenos agrícolas, siguen propagándose a un ritmo sin precedentes, que pone en peligro el suministro mundial de alimentos.

Las enfermedades infecciosas de las plantas y las plagas emergentes y reemergentes constituyen una de las principales amenazas para la seguridad alimentaria. Su incidencia aumenta debido a los cambios en la epidemiología, frecuentemente asociados a la invasión de nuevas especies y poblaciones de plagas, malas hierbas y patógenos. Los grupos de investigación del CSIC abordan el control de estos organismos nocivos desde una perspectiva sostenible, que incluye el uso racional de los productos fitosanitarios, la mejora vegetal para resistencia a plagas y enfermedades, técnicas de teledetección, para todo tipo de cultivos frutales (de hueso, de pepita, olivo, vid, chirimoyo, aguacate, etc), hortícolas (tomate, melón, pepino, coliflor, entre otros), cultivos extensivos (cereales, leguminosas, girasol, etc), y masas forestales. Estas investigaciones también se centran en frenar algunas de las plagas y enfermedades que la Comisión Europea considera de acción prioritaria como las causadas por el nematodo de la madera del pino, *Bursaphelenchus xylophilus*, y la bacteria *Xylella fastidiosa*, que en la actualidad afecta a cultivos mediterráneos como el olivo y la vid, y que no tiene cura de momento.

Como alternativa a los productos fitosanitarios sintéticos, el CSIC propone el uso de bioplaguicidas y biofungicidas basados en microorganismos del suelo, extractos vegetales y biomoléculas de origen natural. Además, se emplean nuevos enfoques de ingeniería genética mediante herramientas de edición del genoma contra plagas y enfermedades fúngicas, bacterianas y víricas más importantes, buscando resistencias más duraderas.



La biotecnología y la mejora genética son dos herramientas clave para mejorar la resistencia de los cultivos ante el cambio climático

- **La agroecología.** Numerosos grupos del CSIC trabajan con un abordaje científico transdisciplinar que engloba diferentes áreas de especialización como los suelos, la biodiversidad, los sistemas forestales, la ganadería extensiva, y el compostaje de residuos; también la biogeografía, la arqueobiología, la historia, la economía, la antropología y la sociología. Este enfoque implica la aplicación de un conjunto de prácticas para cultivar y producir alimentos de forma sostenible mediante el uso de recursos renovables y la máxima reutilización posible de los recursos, como la producción de fertilizantes con residuos alimentarios y otros usos alternativos para subproductos de la agricultura, ganadería y de la industria alimentaria.
- **Uso eficiente del agua.** Personal investigador del CSIC participa en los paneles e informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Una de las prioridades fundamentales de los programas de investigación en marcha es la adaptación de los agroecosistemas españoles a futuros escenarios climáticos y el diseño de estrategias agrícolas que impliquen un menor y más eficiente uso de los recursos hídricos ante un clima cada vez más cálido y seco. Los grupos de la institución identifican y caracterizan variedades de cultivos más tolerantes a la sequía y a la salinidad, modelizan y optimizan la aplicación precisa del riego, dando al regadío español herramientas de gestión de vanguardia, desarrollan estrategias de riego deficitario para aplicar el agua al cultivo solo cuando es más necesaria, y llevan a cabo prácticas agronómicas con estrategias para la conservación del agua y la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero y otros contaminantes.

Nuestra sociedad debe intentar evitar la desaparición de nuestra gran diversidad agrícola, ganadera y forestal. El CSIC cuenta con bancos de semillas y variedades que forman parte del patrimonio de la institución y que se emplean activamente en investigación para producir nuevas variedades diversas y de calidad y ponerlas a disposición de la sociedad.

- **La agricultura de precisión.** La agricultura de precisión emplea sensores en los campos, así como drones y satélites para la vigilancia desde el cielo con el fin de controlar y gestionar los campos a distancia. De manera transversal, el CSIC, a través de colaboraciones con expertos en inteligencia artificial, promueve diferentes proyectos de **agricultura de precisión**. En ellos se utilizan modelos de *deep learning* (o aprendizaje profundo mediante arquitecturas computacionales) que, con ayuda de la teledetección, permiten construir una plataforma de *big data* adecuada para la caracterización y la gestión de cultivos, así como para la detección de enfermedades en las cosechas a partir de imágenes aéreas y de satélite. Estos proyectos también se ocupan de la gestión de robots móviles y cognitivos, que integran la **robótica** en la agricultura.

Sistemas de producción ganadera, pesca y acuicultura

Alineados con la sostenibilidad en la producción agrícola, los sistemas ganaderos y acuícolas deben orientarse hacia la sostenibilidad ambiental e, incluso, hacia la regeneración de los ecosistemas. Además, estos modelos contribuyen a la mejora de la calidad de vida de las comunidades rurales, ya que en muchos casos son su principal vía de ingresos, en cuanto que aportan un mayor poder adquisitivo.

La ganadería sostenible implica la eliminación del uso de hormonas y productos químicos —antipiréticos, antibióticos, antiparásitos o antiparasitarios— que se emplean actualmente. Significa también la preocupación por el nivel de emisiones y la racionalización del uso de los recursos naturales. La pesca sostenible respeta los ecosistemas marinos en sintonía con el ritmo reproductivo de los organismos, mantiene el equilibrio y garantiza la supervivencia de las especies, a su vez rechaza la captura indiscriminada de alevines y especies amenazadas o sin valor comercial. La producción de especies de bajo nivel trófico (como las algas y moluscos), que se alimentan de lo que les proporciona el mar sin necesidad de tener que añadir piensos, reduce los costes de producción, es más eficiente y contribuye a reducir la huella de carbono, ya que actúan como sumideros de dióxido de carbono (CO₂). Esto ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y minimiza su contribución al calentamiento global.



Los proyectos de investigación del CSIC abordan distintas disciplinas como la **nutrición animal**, aplicada tanto a animales monogástricos como a rumiantes, y a la producción de peces de cultivo. Se plantean alternativas de sistemas ganaderos y el uso del territorio, y se contemplan la producción ecológica y el aprovechamiento y valoración de subproductos. Los proyectos están enfocados a la reducción del impacto ambiental y la mejora de la calidad de los productos animales. Destacan, por ejemplo, los trabajos que se realizan para la diversificación de especies y la búsqueda de nuevas fuentes alternativas de ingredientes para los piensos animales, como las proteínas de insectos, las algas, los residuos de la industria agroalimentaria o los descartes de la industria transformadora de los productos de la pesca. También se proporcionan herramientas al sector ganadero para reducir las emisiones de gases por el ganado rumiante. De hecho, personal investigador del CSIC ha participado en el desarrollo del único aditivo alimentario aprobado hasta el momento por la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés) con capacidad para reducir las emisiones de metano en un 30 % sin afectar a la digestión ni a la salud del animal.

Otra de las prioridades del CSIC es el progreso en el conocimiento de la **epidemiología y patogenia de enfermedades animales**, así como de los mecanismos implicados en el desarrollo de las **resistencias a antimicrobianos y antiparasitarios en sanidad animal**. Destacan también los avances hacia la conservación y la caracterización de los recursos genéticos y de las bases biológicas (genéticas, epigenéticas y moleculares) que determinan la eficiencia y la resiliencia de las especies vegetales y animales.

Asimismo, se llevan a cabo proyectos para la implementación de **tecnologías (sensores, software, big data)** para la recogida continua de datos que permitan valorar la salud de los animales y monitorizar su bienestar. Estas tecnologías permiten, además, comprobar la eficiencia del sistema productivo y la rentabilidad económica de las empresas ganaderas, acuícolas y del sector de la pesca.



Todos estos proyectos se realizan desde una perspectiva de reducción de la huella hídrica y de carbono, y de la evaluación de los recursos nutritivos que requiere el animal. Por último, varias investigaciones del CSIC tratan de mejorar el valor nutritivo y las propiedades saludables de los productos animales, e impulsan de este modo un consumo social y ambientalmente responsable.

La ganadería regenerativa se centra en la conservación y la regeneración del suelo. / PEXELS

22.

Innovación en la industria alimentaria y desarrollo de negocio

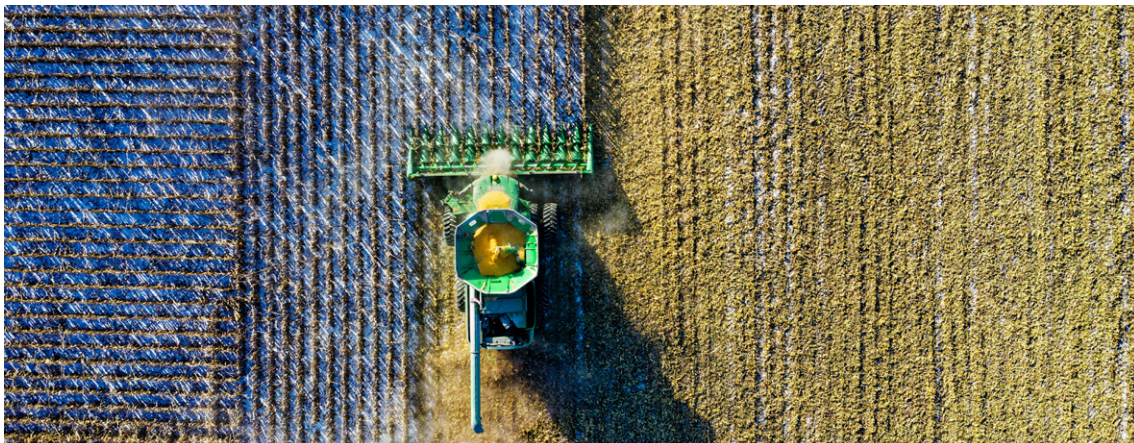
Hoy en día, el procesado de alimentos a nivel industrial requiere de continuas mejoras. Entre ellas se incluyen las exigencias en materia de inocuidad y calidad impuestas por la legislación comunitaria. A eso hay que sumarle las propias exigencias del consumidor, el aumento de la demanda de alimentos y la aparición de nuevos alimentos y productos. Estas mejoras deben alcanzar a todas las fases del procesado, la distribución y la venta, y también las fases anteriores relativas a la producción primaria.

La modernización en la industria alimentaria debe ir relacionada con una óptima trazabilidad del sistema, que permita la transferencia de información a lo largo de la cadena, así como con el control de la calidad del producto en todo momento. Además, esta modernización de los sistemas ha de ser respetuosa con el medioambiente. El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) ha publicado recientemente el *Decálogo de sostenibilidad integral de la industria alimentaria*. Adherirse a este decálogo no es obligatorio, pero las empresas que lo hacen ganan en la sostenibilidad de sus procesos de producción y en la competitividad frente a otras empresas del sector. Asimismo, el MAPA pone a disposición de las industrias alimentarias una herramienta en línea llamada *e-SIAB* que les permite autoevaluar la sostenibilidad ambiental de sus procesos.

Aprovechamiento de residuos de la industria alimentaria

Las llamadas estrategias verdes, para procesar alimentos de manera sostenible, son muchas y muy variadas. Son necesarias no solamente desde un punto de vista medioambiental, sino también para aumentar la competitividad de las empresas transformadoras agroalimentarias —las cárnicas, las pesqueras y las del sector de frutas y verduras— a nivel nacional e internacional.

Entre estas mejoras «verdes» destacan aquellas que conducen, de una manera rentable y sostenible, a una menor generación de residuos durante el procesado, así como al aprovechamiento de aquellos que se originan. Supone, en otras palabras, implantar la **economía circular**, aprovechar los residuos que se generan, no malgastarlos y reducir las emisiones.



PEXELS



Decálogo de la sostenibilidad integral de la industria alimentaria:

Supone un compromiso voluntario para las empresas que quieran mejorar sus procesos y hacerlos sostenibles de manera integral, especialmente sobre:

1. Cadena de suministro
2. Economía local, agentes de interés y consumidores
3. Trabajadores
4. Gestión del impacto ambiental
5. Gestión de la energía consumida
6. Conducta ética
7. Agricultura y ganadería sostenible. Biodiversidad
8. Ecodiseño de productos y empaquetado
9. Gestión de residuos
10. Investigación, innovación y desarrollo

La industria procesadora produce miles de toneladas de residuos durante la manipulación, la fase de poscosecha y en la venta minorista. Su eliminación supone un grave problema medioambiental.

Por ello, para el CSIC es una prioridad la utilización de alimentos no comercializables pero que tienen unas condiciones óptimas y que pueden valorizarse cuando se emplean en la elaboración de otros productos y la obtención de ingredientes. Buenos ejemplos de estos subproductos ricos en nutrientes son los recortes de músculo de pescado derivados del fileteado, de carne extraída mecánicamente para la producción de productos reestructurados, el aprovechamiento de pulpas para elaboración de zumos

o la elaboración de harinas libres de gluten a partir de diversos materiales. De hecho, muchos subproductos de origen vegetal son una fuente rica de compuestos de interés como aditivos naturales alternativos a los sintéticos (antioxidantes, potenciadores de sabor, gelificantes, conservantes, etc.).

El CSIC también trabaja en la obtención de compuestos con propiedades saludables de interés para sectores como el alimentario, el farmacéutico o el cosmético a partir de subproductos de la industria alimentaria.

Un ejemplo son los compuestos bioactivos con capacidad de modular la microbiota intestinal, con capacidad de fortalecer el sistema inmune, y de regular el azúcar en sangre y la tensión arterial. En último término, si no se encuentra ninguna propiedad de interés, los residuos podrían ser utilizados para producir biogás, plaguicidas o fertilizantes.

Además de la investigación sobre la utilización de los residuos de origen alimentario, distintos grupos del CSIC centran su atención en el aprovechamiento de especies animales o vegetales abundantes en la naturaleza pero infrautilizadas. Estudian los pseudocereales (por ejemplo, la quinoa, amaranto y alforfón o trigo negro), las algas o distintas especies marinas no comerciales, que podrían ser una fuente de compuestos de interés para algunos sectores tras un adecuado procesado.



La economía circular es «un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende.» [UE]



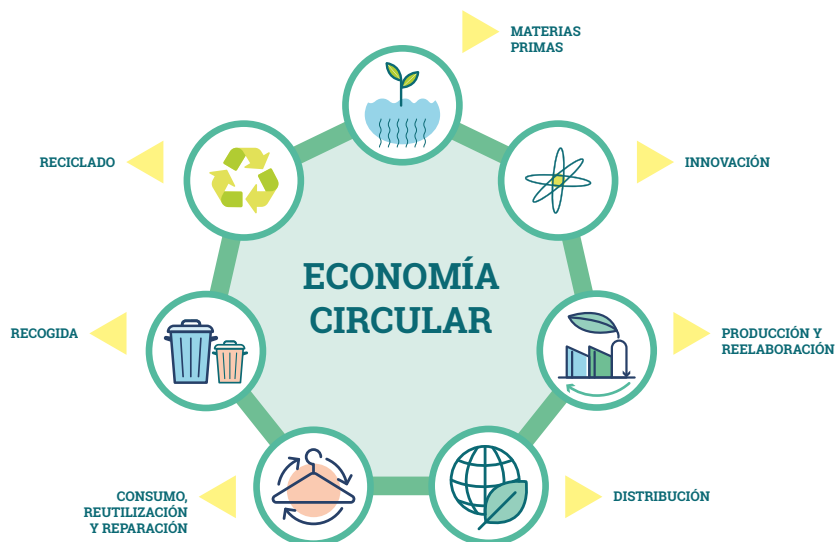
Además de los residuos generados por la industria alimentaria, en el mundo se desperdician 931 millones de toneladas de alimentos cada año, según el índice de alimentos 2021 publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Esto supone el 17 % de los alimentos disponibles para los consumidores. De esta cantidad, 569 millones (el 61 %) proceden de los hogares, 244 millones se atribuye a los restaurantes y otros servicios de alimentación, y 118 millones de toneladas del comercio minorista.



ISTOCK

Gráfico 2.1 Economía circular

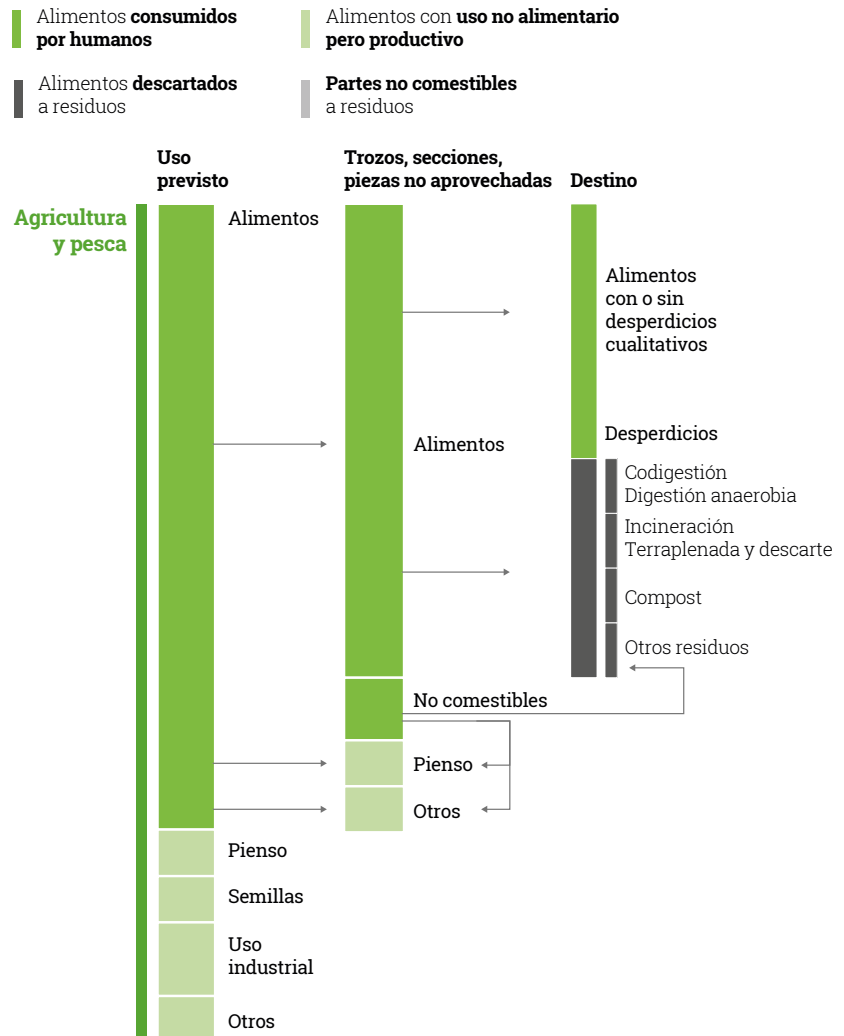
PARLAMENTO EUROPEO



CSIC

Gráfico 2.2 ¿Dónde van los desperdicios?

FAO



Mejoras en el procesado de los alimentos

El personal investigador del CSIC también trabaja en implantar mejoras en el procesado de los alimentos. Esto implica, entre otras cosas, diseñar procesos más eficientes, así como garantizar y prolongar la vida útil de los alimentos para reducir su desperdicio. Entre las mejoras prioritarias está la investigación en torno a la disminución del consumo de insumos y de recursos naturales como el agua, un uso más eficiente de la energía o la utilización de energías renovables. De esta manera se reducen los costes de producción y venta, y finalmente las emisiones de dióxido de carbono.

Como ejemplos paradigmáticos, el CSIC desarrolla el **uso industrial de microorganismos fermentadores** con menores requerimientos de calor y frío. Esto implica un menor consumo de agua en los sistemas de mantenimiento de temperatura, y además un uso más eficiente de la energía. La reducción de los tiempos de procesado, el uso de tecnologías más eficientes y limpias o la aplicación de sistemas de reutilización de agua y energía, tanto en embarcaciones pesqueras como en las industrias procesadoras, son otros de los objetivos para nuestro personal investigador.

Otro campo de estudio en el que trabajan varios grupos de investigación es el desarrollo de procesos sostenibles para la obtención de (bio)moléculas y productos con alto valor añadido para el sector alimentario. Pueden citarse los aditivos y nutraceuticos, así como complementos nutricionales. En este contexto, su obtención mediante uso de microorganismos o enzimas, y el uso de tecnologías limpias serán protagonistas de la sostenibilidad en el futuro al suponer procesos menos contaminantes. El CSIC cuenta con una sólida trayectoria biotecnológica. Esto sitúa a la institución en una posición privilegiada para realizar aportaciones fundamentales en la investigación del uso de microorganismos como futuras factorías celulares, biofactorías verdes inteligentes destinadas a la bioproducción de productos agroquímicos, biocombustibles, nutraceuticos y farmacéuticos para las generaciones venideras.



El CSIC tiene colecciones de microorganismos que se utilizan para obtener probióticos, nuevos enzimas o incluso para mejorar procesos industriales. Para llevar a cabo estas aproximaciones se realiza una caracterización utilizando diferentes escalados en el crecimiento de estos tal como se representa aquí. /IATA/PIXABAY

En este apartado no hay que olvidar las colecciones disponibles en el CSIC, donde se ha conservado la biodiversidad de plantas y microorganismos, junto con las iniciativas basadas en el microbioma de los sistemas alimentarios. Dichas colecciones jugarán un papel relevante en la obtención de ingredientes, aditivos y nutraceuticos mediante tecnologías innovadoras y sostenibles.

Y con el objetivo de **evitar el uso de compuestos contaminantes en los procesos**, el CSIC trabaja, por ejemplo, en su sustitución por otros respetuosos con el medioambiente. También trabaja en la aplicación de técnicas limpias de extracción de compuestos de interés, como los fluidos supercríticos; el uso de microondas; los tratamientos con enzimas y los procesos fermentativos; entre otros. Igualmente, pone el foco en la optimización de los procesos de extracción de ingredientes de interés tecnológico o bioactivo a partir de los residuos o de especies animales o vegetales no aprovechadas.

La **implantación de herramientas de gestión** en los procesos productivos es clave para lograr la modernización del sector alimentario con fines de sostenibilidad. Una de ellas es el análisis del ciclo de vida (LCA), una herramienta que puede evaluar el impacto ambiental de un proceso o producto a lo largo de su ciclo de vida. También se han implementado los sistemas avanzados de trazabilidad que cubran todos los eslabones de la cadena, una herramienta que tiene un largo recorrido por delante; su implantación permite, además, satisfacer las necesidades de los consumidores que buscan información sobre los alimentos antes de comprarlos.

Asimismo, tiene un papel destacado el desarrollo de procesos para la **protección de los ingredientes bioactivos** frente a tratamientos tecnológicos o frente a la digestión gastrointestinal. Para ello se utilizan, principalmente, la microencapsulación y nanoencapsulación en distintas matrices como método protector. Igualmente, se estudia la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos, entendida como la fracción liberada del alimento durante la digestión y disponible para su absorción, así como su biodisponibilidad, que representa la velocidad y cantidad con la que dicho nutriente, o parte de este, es absorbido y llega a la sangre. Estos estudios se realizan tanto *in vitro* como *in vivo*.

Nuevos alimentos

El ritmo de la vida actual y el envejecimiento de la población conducen a una demanda por parte del consumidor de nuevos alimentos e ingredientes que debe ser tenida en cuenta por las empresas del sector. Esto incluye el desarrollo de productos listos para su consumo (orgánicos, veganos, para alérgicos, para personas con disfagia, funcionales, etc.), así como ingredientes saludables. El CSIC contribuye a la generación de los alimentos que demanda la sociedad actual mediante, por ejemplo, la sustitución de determinados ingredientes, como la proteína animal, por proteína de otro origen (por ejemplo, vegetales).



La población demanda fuentes alternativas de proteína, como las algas. / PIXABAY

No podemos olvidar que ya disponemos en nuestro mercado de proteína de gran calidad, como la de las legumbres, que resultan sostenibles, saludables y económicas. No obstante, la industria busca dar respuesta a las demandas de la sociedad para sustituir las fuentes tradicionales de origen animal. Uno de los grandes retos del futuro es contar con fuentes alternativas de proteínas, como los microorganismos, las microalgas, los insectos, cultivos de células y los pseudocereales, entre otras. Varios grupos del CSIC trabajan en la obtención de proteínas e ingredientes funcionales a partir de algas, así como en estrategias fermentativas para la obtención de análogos de embutidos a través del empleo de mezclas de fuentes proteicas animales y vegetales, siempre teniendo en cuenta el valor nutricional, la inocuidad y los perfiles del consumidor. En este contexto es importante destacar que conviene atender a los requerimientos nutricionales de algunos grupos poblacionales más vulnerables, como los ancianos, que necesitan un mayor consumo de proteínas. En este campo investigan distintos grupos de la institución.

Envases innovadores

La modernización en materia de producción pasa por el desarrollo de materiales de envasado sostenibles para sustituir los envases de plástico, muchos de ellos de un solo uso. El envasado contribuye a reducir el desperdicio de alimentos, pero la enorme generación de plásticos que son utilizados a nivel mundial y que son desechados después del consumo del alimento hace necesario el desarrollo de **materiales alternativos sostenibles**. El objetivo es que estos materiales procedan de fuentes naturales, sean biodegradables o biocompostables, económicos, y que, en la medida de lo posible, incorporen compuestos que aumenten el tiempo de vida útil del producto, algo necesario para disminuir la pérdida de alimentos.



Envases biodegradables creados a partir de cáscaras de almendras y suero de queso. / csic

El CSIC focaliza sus estudios en la búsqueda de materiales poliméricos no solo para el desarrollo de envases, sino también para los recubrimientos. Varios grupos del CSIC estudian la mejora de sus propiedades físicas, mecánicas y funcionales, y los procesos productivos o extractivos de los materiales para que sean respetuosos con el medioambiente. Los polímeros que más interés generan son aquellos producidos por microorganismos (a partir de subproductos), los que son extraídos de los residuos de la industria alimentaria y los procedentes de especies abundantes e infrautilizadas, como las algas.

La mejora de las propiedades del envase mediante la aplicación de micro- y nanocompuestos como agentes de relleno y con potencial bioactivo, el desarrollo de mezclas de polímeros y sus modificaciones, y la liberación controlada de compuestos bioactivos es y será objeto de atención en los próximos años para el personal investigador del CSIC.

Además, es prioritario que estos nuevos envases incorporen compuestos antimicrobianos o antioxidantes para alargar la vida útil del producto. También se trabaja en el desarrollo de **envases inteligentes** con la integración, por ejemplo, de sensores en el envase o en el recubrimiento que aporten información sobre la calidad y inocuidad del alimento. Distintos grupos de in-

vestigación se dedican al desarrollo de nanomateriales con los que fabricar nanosensores y nanosondas con mayor sensibilidad y exactitud que los sensores habitualmente utilizados por la industria alimentaria.

Uso de Tecnologías de información y comunicación (TIC)

Otro de los grandes retos recientes del sector alimentario es proveer de inteligencia, eficiencia y sostenibilidad a cada una de las etapas y actores de la cadena agroalimentaria mediante el uso y desarrollo de TIC de vanguardia. La integración de procesos automatizados y la digitalización deben ir apoyadas por la implantación en todo el territorio nacional de redes de quinta generación (el llamado *internet de las cosas*), en el uso de herramientas robotizadas, y en el aprovechamiento del *big data*.

La **inteligencia artificial** se va a abrir camino en la industria alimentaria para evitar, por ejemplo, excedentes de producción, buscar sustitutos de ingredientes o combinar ingredientes para conseguir sabores y texturas determinadas. También será fundamental en el desarrollo de alimentos personalizados o para recopilar información sobre las preferencias y necesidades de los consumidores. Su implantación ayudará a disminuir el desperdicio de alimentos. El desarrollo de TIC para el sector es muy novedoso. Cada vez son más los proyectos del CSIC que incluyen estas tecnologías, gracias a la especialización en esta temática y a que se consideran líneas estratégicas de financiación. Es una de las líneas que más se van a desarrollar en los próximos años.

En la actualidad, en los sectores de las bebidas y de la acuicultura se aplica el desarrollo de modelado, predicción y gemelo digital para la toma de decisiones. Algunos de los proyectos del CSIC son pioneros en esta temática. Para las empresas resulta de gran interés el desarrollo de técnicas innovadoras, rápidas y no invasivas para determinar la calidad, la trazabilidad, la seguridad alimentaria y la adulteración o fraude en alimentos. El CSIC cuenta en este campo con grandes expertos tanto a nivel nacional como internacional. En este contexto, podemos hablar del control de fraude en todos los sectores: alimentos vegetales, lácteos, cárnicos y productos del mar. Abarca desde la conservación más segura de los alimentos a la disminución de aditivos y



conservante en los productos, incluidos los fermentados, lo cual aporta un valor añadido a la industria del procesado en España que favorece su competitividad a nivel internacional. Además, la implantación de la digitalización mejora la comercialización mediante mecanismos innovadores basados en modelos predictivos y *big data*, y favorece el desarrollo de plataformas para almacenamiento, gestión y tratamiento de datos.

La investigación marina emplea satélites y drones para el estudio de los mares y el sector de la pesca. En la imagen, «granjas» de acuicultura en Corea del sur captadas por los satélites Sentinel-2.
/ SENTINEL-2

En el campo de las tecnologías, destaca el papel que tiene y tendrá el personal investigador del CSIC en el desarrollo de **aplicaciones informáticas** que permitan mejorar los sistemas productivos o aportar información al consumidor sobre la calidad y seguridad de un producto antes de su compra o su consumo. Se ha desarrollado, por ejemplo, la aplicación SafeFrying para ayudar a reducir la formación de acrilamida en las patatas fritas. También es de gran interés para el sector primario el desarrollo de aplicaciones que ayuden a mejorar la producción, como SHuBest, que permite a los agricultores identificar las prácticas de manejo sostenibles de suelo y agua que mejor se adaptan a sus condiciones.



2.3.

**Gestión
integrada
consumidores-
academia-
industria**

LAS estrategias políticas europeas en alimentación fijan como objetivo fundamental para alcanzar la producción sostenible de alimentos en 2030 que se propicie en las comunidades productoras un ecosistema de innovación saludable, entendida esta como un proceso de construcción colectiva. Esto es, comprender que la innovación no afecta solamente a las organizaciones, sino también a las personas, las actividades y los recursos implicados. Todos los actores deben, por tanto, estar conectados. De esta forma, las personas, organizaciones y las actividades estarán vinculadas, tanto vertical como horizontalmente, dentro de la cadena alimentaria, y se evitará que haya actores que funcionen de manera aislada. Se considera que, a través de alianzas más estrechas con la industria y la sociedad, los mercados pueden funcionar de manera responsable, fomentar el comercio justo y la fijación de precios, la inclusión y la sostenibilidad. Todo ello contribuirá a crear nuevos puestos de trabajo en la UE y fomentará la prosperidad urbana, las economías rurales y costeras y las comunidades basadas en la producción local.

El CSIC, por su naturaleza transversal y su vocación de innovación, fomenta el progreso basado en pruebas fundamentadas y el desarrollo de negocio e innovación social, proponiendo alimentos sostenibles y saludables. Desde la institución se promueve la transferencia del conocimiento mediante iniciativas que contribuyen a transformar nuestro sistema alimentario hacia la sostenibilidad en todas sus acepciones. Entre estas iniciativas, pueden citarse:

- La creación de empresas de base tecnológica y ecosistemas de innovación que generen nuevos modelos de negocio y nuevos productos en el sector agroalimentario y gastronómico, con el objetivo de desarrollar soluciones a los retos que plantea la industria alimentaria.
- La divulgación y la educación para fomentar la alimentación sostenible y saludable para todos, en pueblos, ciudades y regiones, y la colaboración en iniciativas locales, nacionales e internacionales.



Patrimonio del CSIC

- Fincas experimentales
- Invernaderos
- Plantas piloto y escalado industrial
- Fincas de nutrición y producción animal
- Buques de investigación marina
- Instalaciones de cultivos acuícolas
- Plataformas ómicas y de inteligencia artificial



CÉSAR HERNÁNDEZ

- El incremento de la confianza del consumidor mediante la implicación de los ciudadanos en la ciencia de alimentos y en la política local alimentaria.
- El apoyo a una economía basada en el concepto *de la granja a la mesa* mediante la contribución a la innovación social, por ejemplo, a través de los proyectos de biorrefinerías destinadas a la valorización de subproductos de las industrias agroalimentarias.
- El desarrollo de herramientas inteligentes de datos basadas en la nutrición y la alimentación que respondan a las necesidades de la sociedad, como los proyectos destinados a establecer modelos de predicción que permitan una nutrición adecuada en los distintos grupos de población.



Y en el ámbito de la creación de negocio, es preciso destacar que los grupos del CSIC atesoran un importante patrimonio científico en múltiples aspectos del sistema alimentario, información que ponen a disposición de agricultores, productores y del conjunto de la sociedad. Este patrimonio se extiende a fincas experimentales, que proporcionan recursos y parcelas agrícolas para experimentación de condiciones de estrés térmico e hídrico, servicios de invernaderos o fincas de nutrición y producción animal y sanidad animal. Las plataformas ómicas avanzadas contribuirán al registro automático de múltiples datos y parámetros que condicionarán el futuro de la investigación en producción animal y de la asociación entre el ambiente del animal y su bienestar. Y finalmente, las plataformas de observación marina, tales como buques de investigación costera, e instalaciones de acuicultura, imprescindibles para el estudio de los ecosistemas marinos.



Las colecciones singulares del CSIC constituyen un extenso y completo registro de la distribución de organismos en todo el mundo y a través del tiempo, y son la única documentación directa de la diversidad biológica y física del planeta en el espacio y en el tiempo. Comprender: bancos de semillas, recursos genéticos, microorganismos, insectos, cultivos de micología, polinizadores, repositorios de recursos naturales de biodiversidad (y geodiversidad), de regiones españolas y de todo el planeta, microbiomas de plantas, bacterias y hongos.

El CSIC cuenta con una gran riqueza de colecciones singulares. Los bancos de semillas, los recursos genéticos, los microorganismos, los insectos, los cultivos de micología, los polinizadores, los repositorios de recursos naturales de biodiversidad y geodiversidad, de regiones españolas y de todo el planeta, microbiomas de plantas, bacterias y hongos y otros microorganismos, de tejidos y ADN constituyen un patrimonio de valor incalculable. Sin olvidar todos los medios técnicos y humanos, y laboratorios de referencia, que apoyan a todas estas infraestructuras.

Alineado con los agentes sociales y productivos, el CSIC lanzó en 2018 un conjunto de iniciativas de cooperación multidisciplinar destinadas a abordar numerosos retos que afrontan hoy en día la sociedad y los sectores industriales, entre ellos la industria alimentaria. Una de las iniciativas que tiene especial relevancia es la de las Plataformas Temáticas Interdisciplinares (PTI), creadas para dar respuestas prácticas y globales a un reto social concreto.

En este marco de actuación, el CSIC pone a disposición de la sociedad plataformas cuyos objetivos están directamente relacionados con la agroalimentación. Así, la PTI Clima+ busca dar una respuesta coordinada a los efectos del cambio climático. Por su parte, la PTI Agrofor tiene como misión obtener una mayor productividad de las actividades agrarias y forestales. AgriamBio busca la mejora de la eficacia socio-ambiental de la Política Agraria Común. Horizonte Verde aborda la sostenibilidad futura de los sistemas agrícolas y forestales ante el impacto del cambio climático. SosEcoCir ofrece soluciones innovadoras para el reciclado de materiales residuales a través de sistemas de economía circular. Y la PTI Alergias Alimentarias, enfoca los diversos aspectos encaminados a conocer y gestionar las alergias a determinados alimentos.

Algunas de estas plataformas incluyen acciones conectadas en la actualidad con el Plan de Recuperación para Europa, e inciden en áreas en las que el CSIC promueve proyectos colaborativos de alto impacto. Se trabaja también en proyectos que aportan soluciones al problema de la gestión sostenible de los plásticos por su enorme impacto medioambiental y en la cadena alimentaria (PTI SusPlast). Se investiga en el desarrollo de prototipos a escala industrial de almacenamiento de energía y tecnologías de captura de CO₂ (PTI TransEner+). Directamente implicados con la sostenibilidad nutricional, se afronta el envejecimiento saludable ligado a la alimentación dentro de un abordaje clínico y científico integral de los principales procesos neurodegenerativos junto con los factores biológicos, del entorno y sociales (NeuroAging). Se abordan además las principales zoonosis con repercusión también alimentaria, dentro de un enfoque de salud global (SaludGlobal). Son medidas que permiten impulsar el desarrollo de proyectos multidisciplinares coordinados que promueven grupos de investigación de las tres áreas del CSIC: sociedad, vida y materia.

tres



Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

|||||

La ciencia desarrollada en el CSIC, en colaboración con otros centros de investigación y universidades nacionales e internacionales, busca soluciones a los retos actuales y futuros que tiene la producción de alimentos en un planeta que está cambiando.

|||||

En un futuro, el aumento poblacional y el cambio climático harán que necesitemos producir más alimentos y de una manera más eficiente, mediante la optimización del uso de recursos naturales, especialmente el agua, y la conservación de la calidad y salud de los suelos.

|||||

La forma en la que se producen los alimentos que consumimos influye en el planeta y en el desafío de asegurar una alimentación saludable para todas las personas.

|||||

El sistema alimentario es el conjunto de personas, actividades, infraestructuras y procesos interconectados que participan en el cultivo de los alimentos, el transporte, el procesamiento y fabricación, la distribución, los vendedores y, finalmente, también en el consumo y gestión de los residuos de los alimentos.

|||||

Los sistemas alimentarios actuales fomentan consumos y dietas poco saludables, generan grandes cantidades de pérdidas y desperdicios de alimentos, producen desigualdades y tienen importantes repercusiones negativas en el medioambiente (pérdida de biodiversidad, agotamiento de los recursos naturales y contribución significativa al cambio climático).

|||||

Los sistemas alimentarios sostenibles deben sustentarse económicamente y cumplir criterios de justicia social mediante su contribución a la sostenibilidad socioeconómica del sistema. Han de preservar su base material (dimensión ambiental) y mejorar el bienestar de la población rural (dimensión social).

|||||

Es indudable que nuestros sistemas alimentarios actuales son insostenibles y los estados y países están de acuerdo en la necesidad de transformarlos para poder asegurar la alimentación sin consumir el planeta. La ciencia tiene en este desafío un papel esencial.

|||||

El CSIC trabaja en esa transformación proporcionando las bases para mejorar la sostenibilidad futura de los ecosistemas agrícolas, forestales y marinos con el fin de promover una producción de alimentos segura, responsable y saludable para toda la población.

Recomendaciones



El acceso a los alimentos saludables y de alta calidad debe ser una realidad para toda la población del mundo. Los recursos de la Tierra son adecuados para satisfacer la demanda actual de alimentos, pero se requerirá un aumento de más del 70 % en la producción actual para alimentar una población mundial que, de acuerdo con las Naciones Unidas, será de aproximadamente 9700 millones para 2050.



La producción de alimentos necesaria para abastecer a una población en aumento requiere un esfuerzo investigador significativo y una evolución constante. Este esfuerzo ha de estar destinado a desarrollar estrategias sostenibles y alcanzables en el tiempo para la agricultura, la ganadería, la pesca y la acuicultura.



Las producciones agrícola y ganadera dependen, en gran medida, de las condiciones ambientales. Su mantenimiento se basa en la disponibilidad de variedades, razas y métodos de producción adaptados a los distintos agroecosistemas. Para ello es imprescindible tener un fuerte componente de investigación y de desarrollo local.



La pérdida y desperdicio de alimentos tiene que reducirse y, cuando sea posible, evitarse. Es preciso fomentar la investigación e innovación en procesos y tecnologías que permitan la valorización de los subproductos y eviten la generación de nuevos residuos.



La sostenibilidad alcanza todos los eslabones de la cadena alimentaria. La sostenibilidad en la industria alimentaria es una realidad necesaria y posible. Para ello se requiere un esfuerzo por parte del sector alimentario en colaboración con el sector investigador, que redundará en la mejora de su competitividad.



Las empresas del sector que sean sostenibles contarán con una diferenciación que les situará en una posición de ventaja con relación a la competencia. Esto valorizará su reputación corporativa y creará una conexión con los consumidores que cada vez están más concienciados y demandan una alimentación saludable, segura y sostenible.



En la transición hacia los Sistemas Alimentarios sostenibles, pueden ser eficaces el cálculo del «coste real» de la producción de alimentos y un potencial reajuste de los incentivos fiscales hacia sistemas de producción positivos para el medioambiente.



Las acciones sobre las políticas fiscales pueden ayudar a la transición hacia sistemas alimentarios sostenibles que protejan el abastecimiento de alimentos sanos y producidos de forma sostenible.

cuatro



Listado de centros

|||||

CENTRO	PÁGINA WEB	CORREO ELECTRÓNICO
Centro de Biología Molecular Severo Ochoa [CBMSO]	www.cbm.csic.es	direccion.cbm@csic.es
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura [CEBAS]	www.cebas.csic.es	direccion.cebas@csic.es
Centro de Investigación Agrigenómica [CRAG]	www.cragenomica.es	direccion.crag@csic.es
Centro de Investigaciones Biológicas Margarita Salas [CIB]	www.cib.csic.es	direccion.cib@csic.es
Centro Nacional de Biotecnología [CNB]	www.cnb.csic.es	direccion.cnb@csic.es
Estación Experimental Aula Dei [EEAD]	www.eead.csic.es	direccion.eead@csic.es
Estación Experimental del Zaidín [EEZ]	www.eez.csic.es	direccion.eez@csic.es
Instituto de Acuicultura Torre de la Sal [IATS]	www.iats.csic.es	direccion.iats@csic.es
Instituto de Agricultura Sostenible [IAS]	www.ias.csic.es	direccion.ias@csic.es
Instituto de Agrobiotecnología [IDAB]	www.idab.csic.es	direccion.idab@csic.es
Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos [IATA]	www.iata.csic.es	direccion.iata@csic.es
Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas Primo Yufera [IBMCP]	www.ibmcp.csic.es	direccion.ibmcp@csic.es
Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis [IBVF]	www.ibvf.us-csic.es	direccion@ibvf.csic.es
Instituto de Ciencias Agrarias [ICA]	www.ica.csic.es	direccion.ica@csic.es
Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino [ICVV]	www.icvv.es	direccion.icvv@csic.es
Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía [ICMAN]	www.icman.csic.es	direccion.icman@csic.es
Instituto de Ciencia y Tecnologías de Alimentos y Nutrición [ICTAN]	www.ictan.csic.es	direccion.ictan@csic.es



Instituto de Economía, Geografía y Demografía [IEGD]	www.iegd.csic.es	direccion.iegd@csic.es
Instituto Español de Oceanografía [IEO]	www.ieo.es	direccion@ieo.csic.es
Instituto de Estudios Sociales Avanzados [IESA]	www.iesa.csic.es	direccion.iesa@csic.es
Instituto de Ganadería de Montaña [IGM]	www.igm.ule-csic.es	direccion.igm@csic.es
Instituto de la Grasa [IG]	www.ig.csic.es	direccion.ig@csic.es
Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea La Mayora [IHSM]	www.ihsm.uma-csic.es	direccion.ihsm@csic.es
Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación [CIAL]	www.cial.uam-csic.es	direccion.cial@csic.es
Instituto de Investigaciones Marinas [IIM]	www.iim.csic.es	direccion.iim@csic.es
Instituto de Investigaciones en Recursos Cinegéticos [IREC]	www.irec.es	direccion.irec@csic.es
Instituto de Productos Lácteos de Asturias [IPLA]	www.ipla.csic.es	direccion.ipla@csic.es
Instituto de Productos Naturales y Agrobiología [IPNA]	www.ipna.csic.es	direccion.ipna@csic.es
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca [IRNASA]	www.irnasa.csic.es	direccion.irnasa@csic.es
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla [IRNAS]	www.irnas.csic.es	direccion.irnas@csic.es
Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria [INIA]	www.inia.es	direccion.general@inia.es
Misión Biológica de Galicia [MBG]	www.mbg.csic.es	direccion.mbg@csic.es



Para saber más

Bibliografía general



Eduardo Moyano Estrada; Tomás García Azcárate (2021).
New foundations for a sustainable global society. Ref-CSIC: 13675.



Enrique Olmos Aranda; Mónica Venegas Calerón (2021).
Sustainable primary production. Ref-CSIC: 13490.



Comisión Europea.
El Pacto Verde Europeo (2019).



Comisión Europea.
La estrategia europea De la Granja a la mesa (From Farm to Fork): cómo conseguir un sistema alimentario sostenible (2022).



Naciones Unidas.
Objetivos de Desarrollo Sostenible.



Ciencia para las Políticas Públicas



Informe de transferencia
de conocimiento



SCIENCE  POLICY