

CAPACIDAD DEL SECTOR OBTENTOR PARA HACER FRENTE A LOS RETOS DEL SUMUNISTRO ALIMENTARIO





Antecedentes



Desafíos de carácter
estructural



Desafíos de carácter coyuntural



Necesidad de incremento
de rendimiento para hacer
frente a los desafíos



Potencial de contribución
de la mejora vegetal



Barreras existentes para
que la mejora vegetal
pueda dar respuesta a los
desafíos



Reflexión final

El suministro de alimentos a precios asequibles no se encuentra garantizado a medio plazo, siendo necesario abordar los retos a los que se enfrentan los sistemas alimentarios, tanto a escala global, como española, de manera que se puedan configurar soluciones que permitan abastecer a la población en escenarios futuros inciertos.

Entre los desafíos a los que deben hacer frente los sistemas alimentarios se encuentran desafíos de carácter estructural y de carácter coyuntural.



Antecedentes



**Desafíos de carácter
estructural**



Desafíos de carácter coyuntural



Necesidad de incremento
de rendimiento para hacer
frente a los desafíos



Potencial de contribución
de la mejora vegetal



Barreras existentes para
que la mejora vegetal
pueda dar respuesta a los
desafíos



Reflexión final

2. Desafíos de carácter estructural

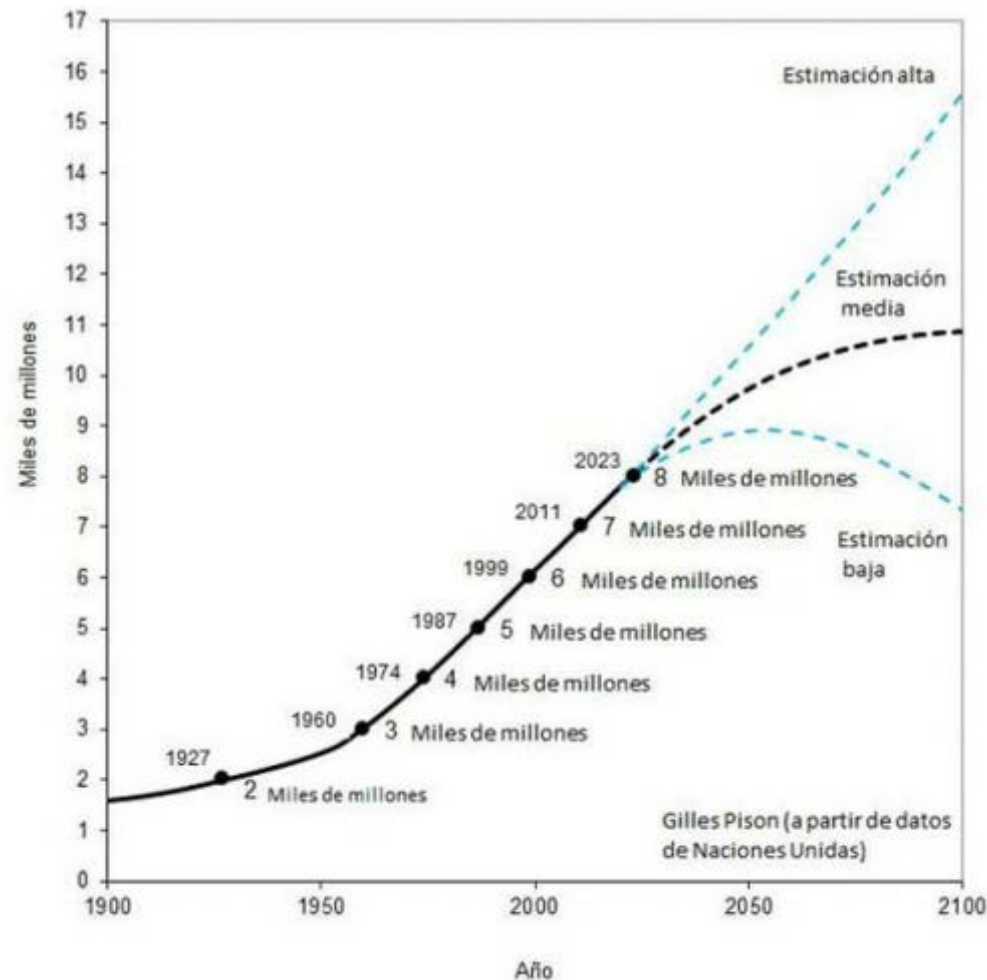
Desafíos de carácter
estructural

- Alimentar a una población creciente.
- Imposibilidad de incrementar las tierras de cultivo.
- Hacer frente al cambio climático.
- La transición hacia sistemas de cultivo más sostenibles.
- El incremento de coste de los insumos agrarios.
- La necesidad de garantizar la sostenibilidad económica de la producción agrícola.

2.1. Alimentar a una población creciente

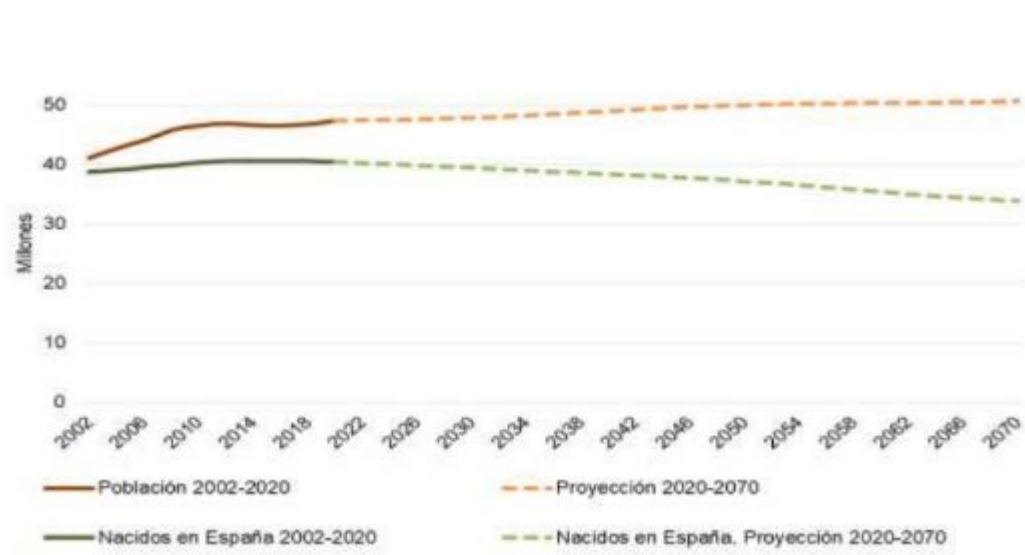
Se espera que la población mundial llegue a 9.700 millones en 2050.

Población mundial desde 1900 y proyección hasta 2100



Fuente: Pison, G., a partir de datos de base de Naciones Unidas, 2023.

Proyecciones de la población residente en España 2020-2070



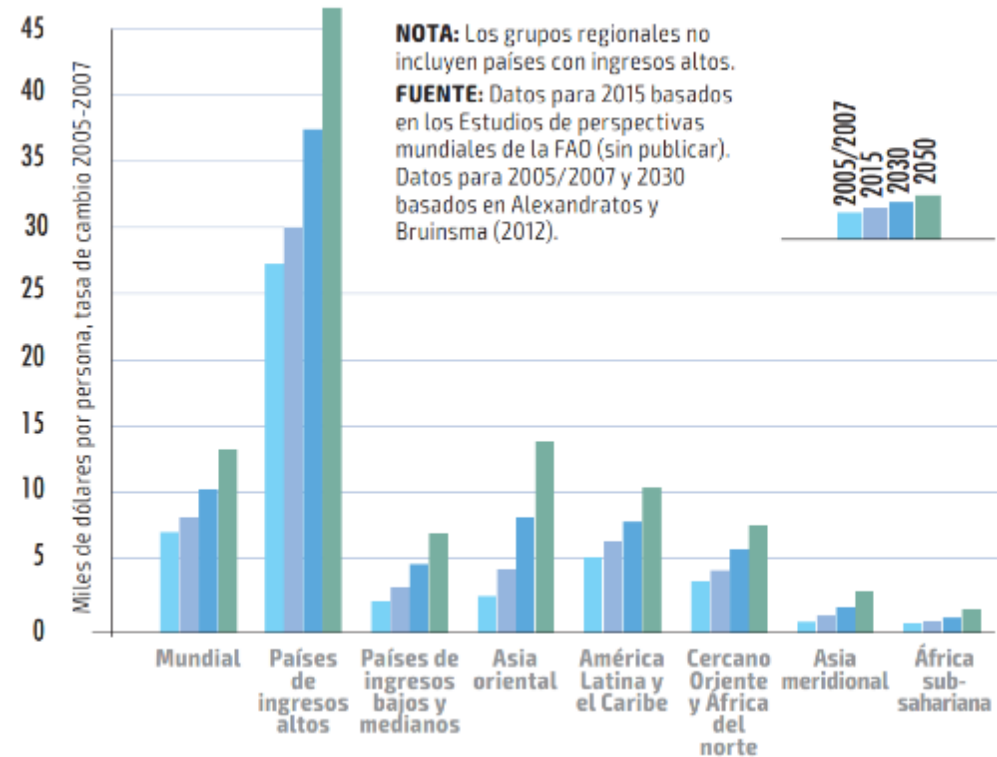
Fuente: INE, 2020.

Las últimas estimaciones de la FAO indican que la producción de alimentos debería aumentar entre un 35% y un 50% para 2050.

2.1. Alimentar a una población creciente

El incremento de la necesidad de alimentos no se debe únicamente a una mayor ingesta, sino también a la variación de la procedencia de las kilocalorías consumidas.

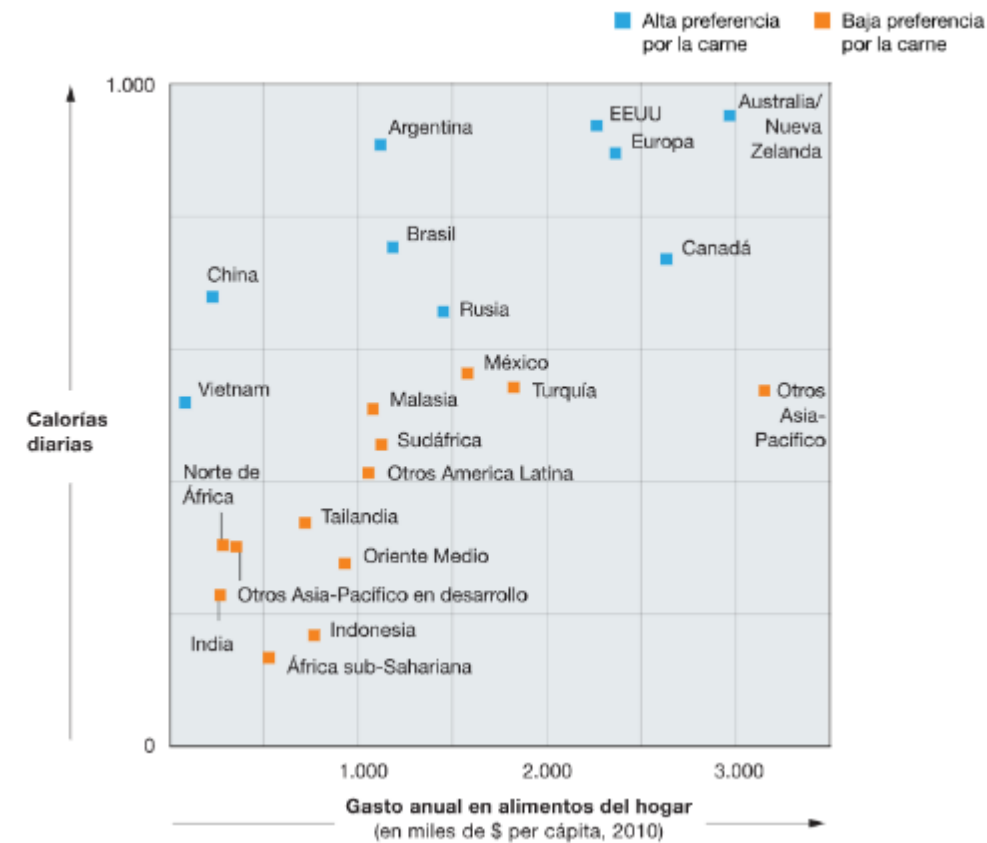
Previsiones de crecimiento del PIB per cápita hasta 2050 por región



Fuente: El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos, FAO, 2017.

Relación entre el gasto de alimentos en el hogar y el consumo de carne

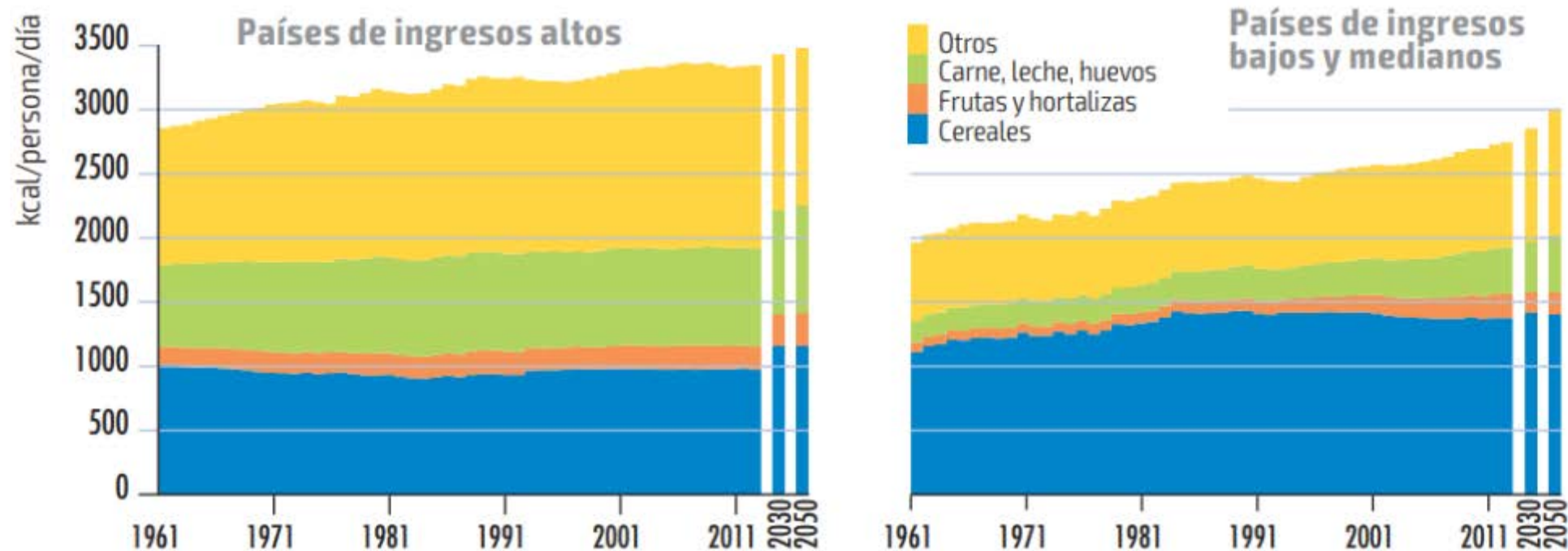
Consumo de carne y derivados por región¹



Fuente: McKinsey, 2022.

2.1. Alimentar a una población creciente

Ingesta calórica per cápita según el grupo de alimentos, 1961-2050



Fuente: El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos, FAO, 2017.

El incremento de la demanda a nivel mundial, a no ser que se incremente la producción de alimentos, supondría un incremento global de precios, que también afectaría a España.

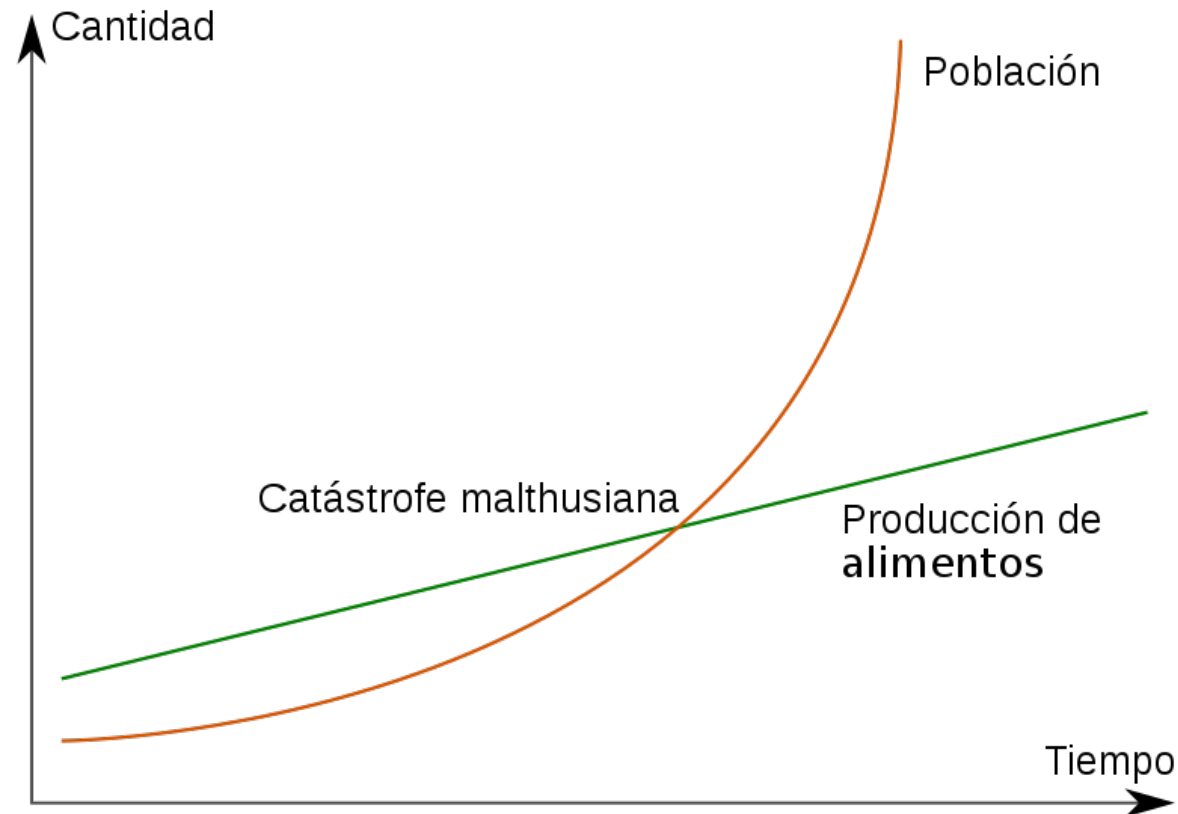
2.1. Alimentar a una población creciente

Para hacer frente al actual crecimiento poblacional, el mundo deberá impulsar una nueva revolución agrícola que, necesariamente, deberá ser más acelerada que la las anteriores



2.1. Alimentar a una población creciente

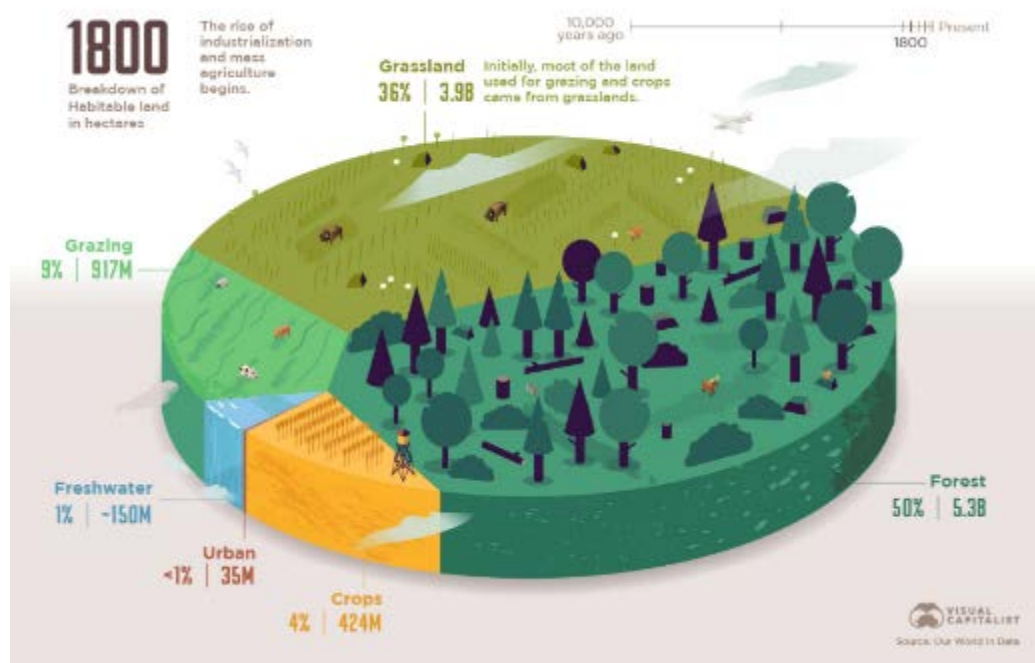
La magnitud del reto existente hace que no se pueda hacer frente al mismo sin un incremento de las productividades de los diferentes cultivos.



2.2. Imposibilidad de incrementar las tierras de cultivo

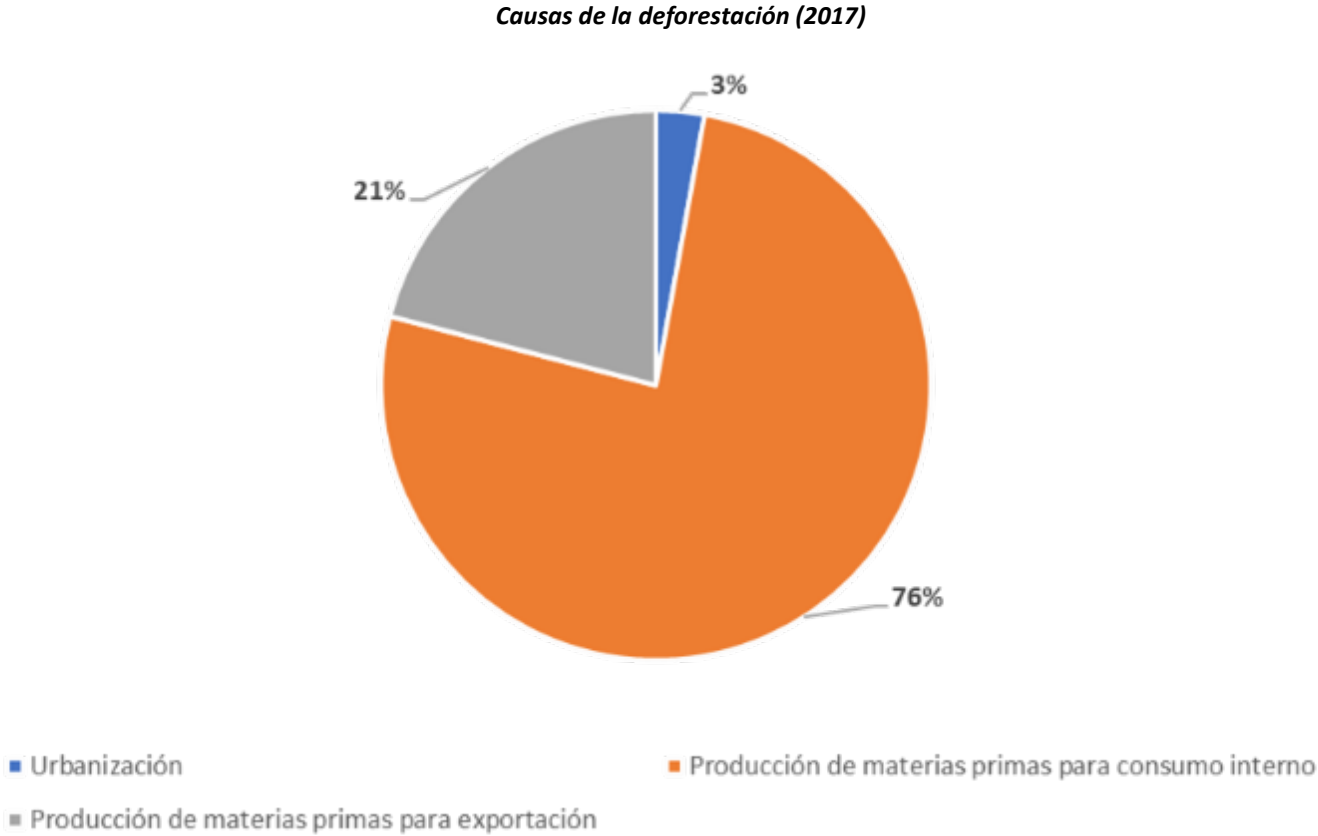
Dado los impactos asociados a la deforestación, a los compromisos adquiridos para acabar con la misma a nivel mundial, y atendiendo a que los pastos y campos de cultivo ya suponen un 50% de la superficie terrestre, la respuesta a las necesidades crecientes de alimentos no podrá desarrollarse mediante la ampliación de las tierras agrícolas.

Cobertura de la superficie terrestre de la tierra en 1800 y en la actualidad



Fuente: Visualizing the World's Loss of Forest Since the Ice Age. Visual Capitalist, 2022.

2.2. Imposibilidad de incrementar las tierras de cultivo

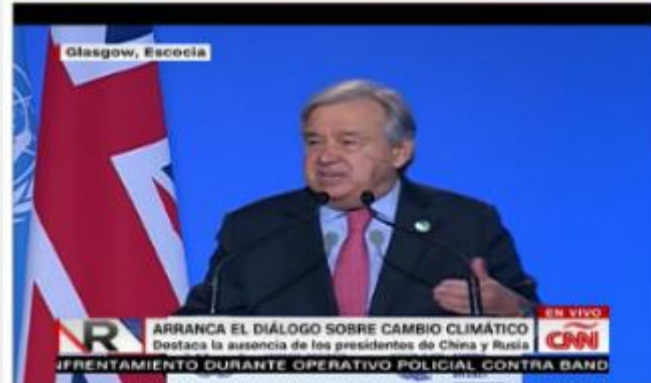


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de base de Global Forest Wartch. Pendril et al., 2022.

2.2. Imposibilidad de incrementar las tierras de cultivo

COP26 Más de 100 líderes mundiales acordarán acabar con la deforestación para 2030 en la COP26

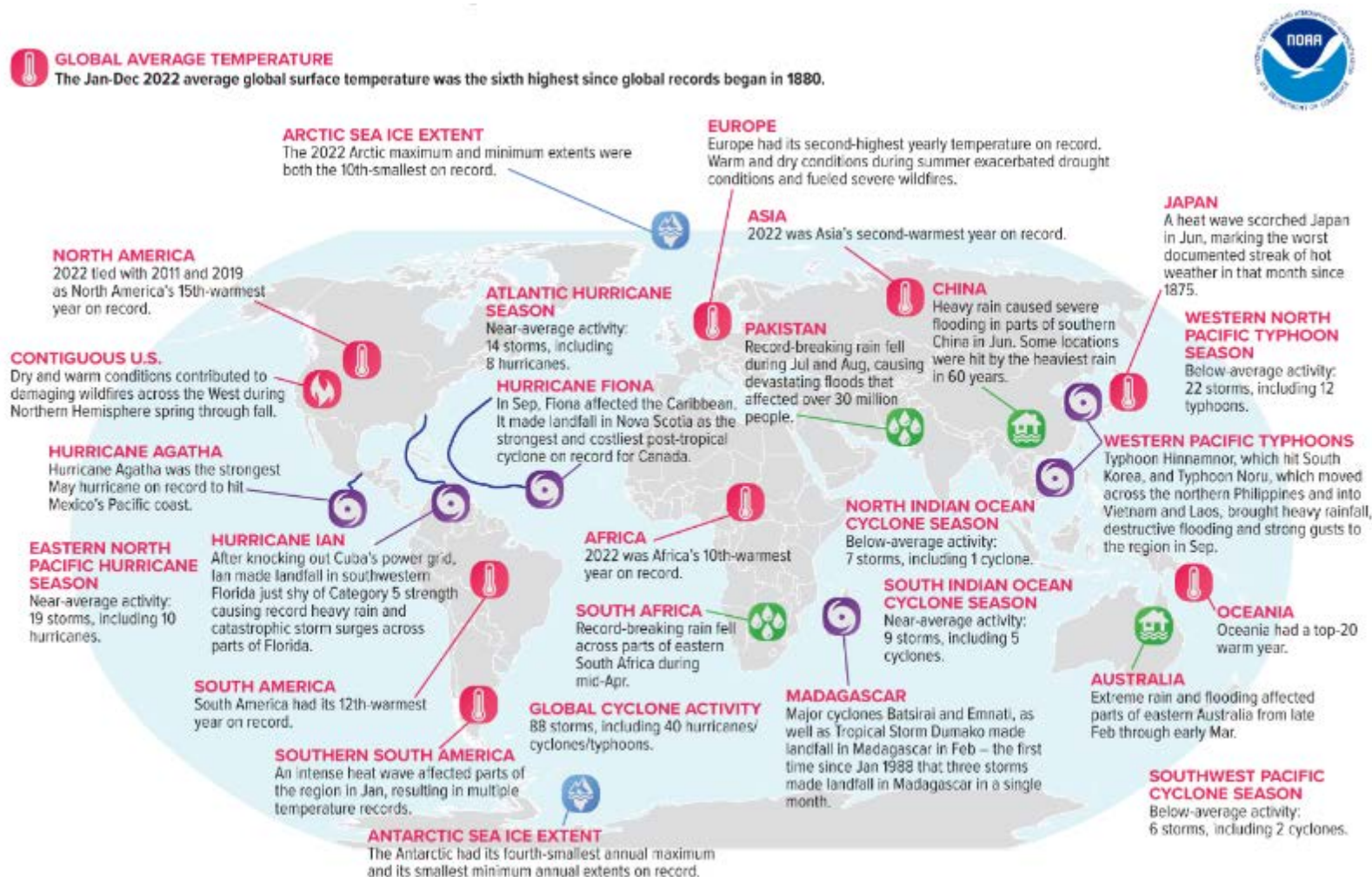
Por Iñaki Kortaizvil
19:28 ET (20:29 GMT) 1 Noviembre, 2021



2.3. Hacer frente al cambio climático

El impacto del cambio climático se seguirá produciendo, con mayor o menor intensidad, en años venideros.

Principales anomalías y eventos climáticos durante el año 2022



Fuente: Razgulay Group, 2023.

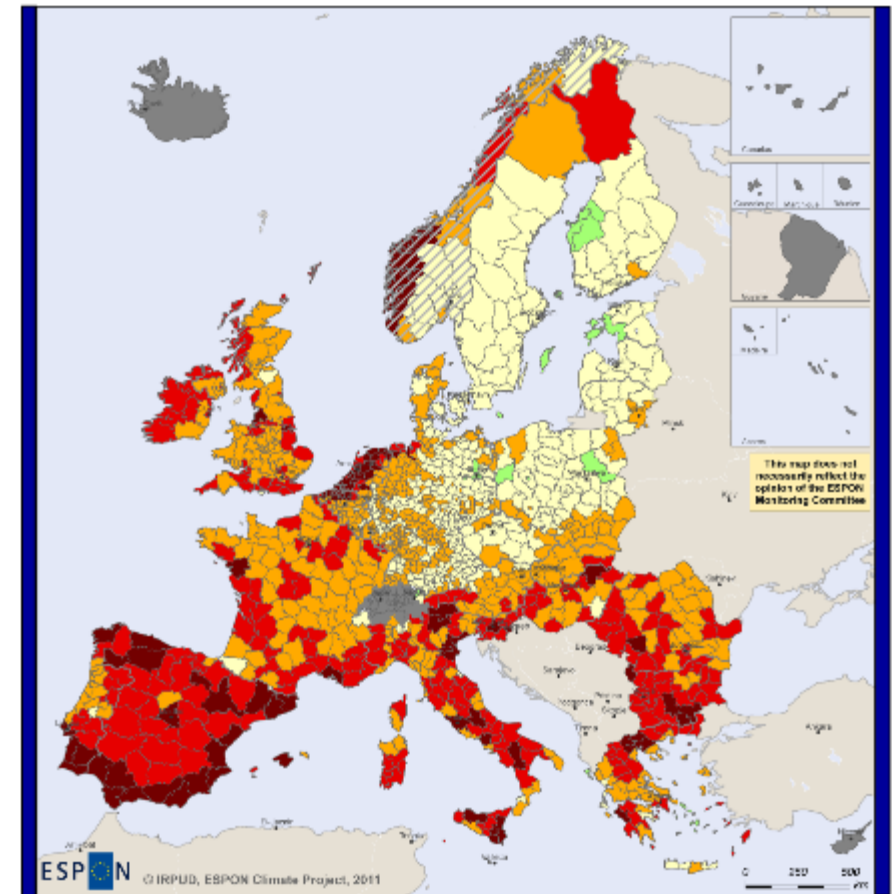
Please note: Material provided in this map was compiled from NOAA's State of the Climate Reports. For more information please visit: <https://www.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/>

2.3. Hacer frente al cambio climático

Se prevé que, como consecuencia del cambio climático, el rendimiento global de los cultivos a nivel mundial descienda entre un 3% y un 12% a mediados de siglo y entre un 11% y un 25% para finales de siglo.

Potencial de impacto agregado del cambio climático en las diferentes regiones de la UE.

Fuente: Proyecto ESPON, Agencia Europea del Medio Ambiente, 2011



Aggregate potential impact of climate change

- highest negative impact (0.5 - 1.0)
- medium negative impact (0.3 - <0.5)
- low negative impact (0.1 - <0.3)
- no/marginal impact (>0.1 - <0.1)
- low positive impact (-0.1 - >-0.27)
- no data*
- reduced data*

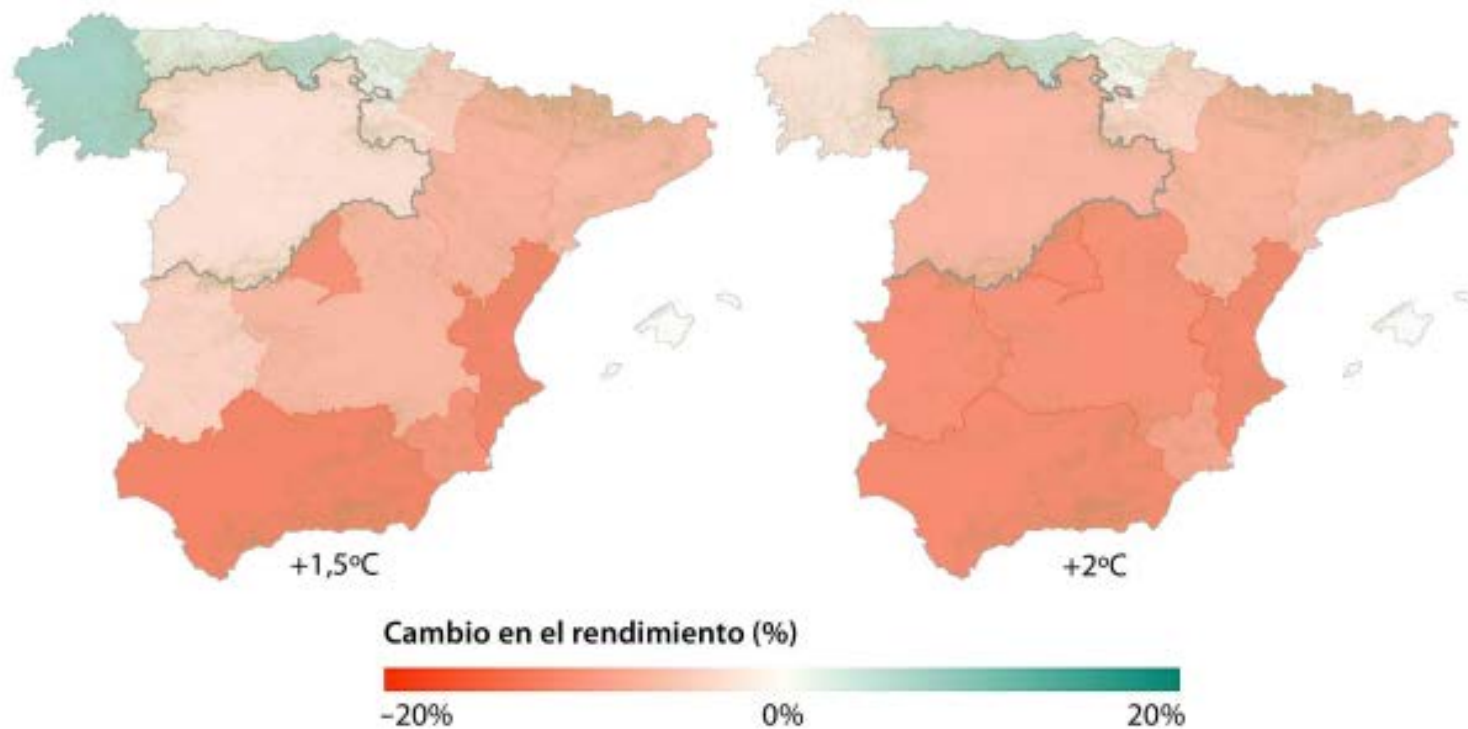
Weighted combination of physical (weight 0.16), environmental (0.31), social (0.18), economic (0.24) and cultural (0.1) potential impacts of climate change. Weights are based on a Delphi survey of the ESPON Monitoring Committee.

Impact calculated as combination of regional exposure to climate changes and recent data on regional sensitivity. Climate changes derived from temperature of 1981-1999 and 2021-2100 climate projections from the CGCM model for the IPCC SRES A1B scenario.

*For details on measures to increase data availability see Annex B

2.3. Hacer frente al cambio climático

Cambios porcentuales medios del rendimiento del trigo en relación con el pasado reciente (1981-2010) para los escenarios de altas emisiones (RCP 8.5.), con un calentamiento de 1,5°C en el periodo 2018-2029 (izquierda) y 2°C en 2030-2044 (derecha)



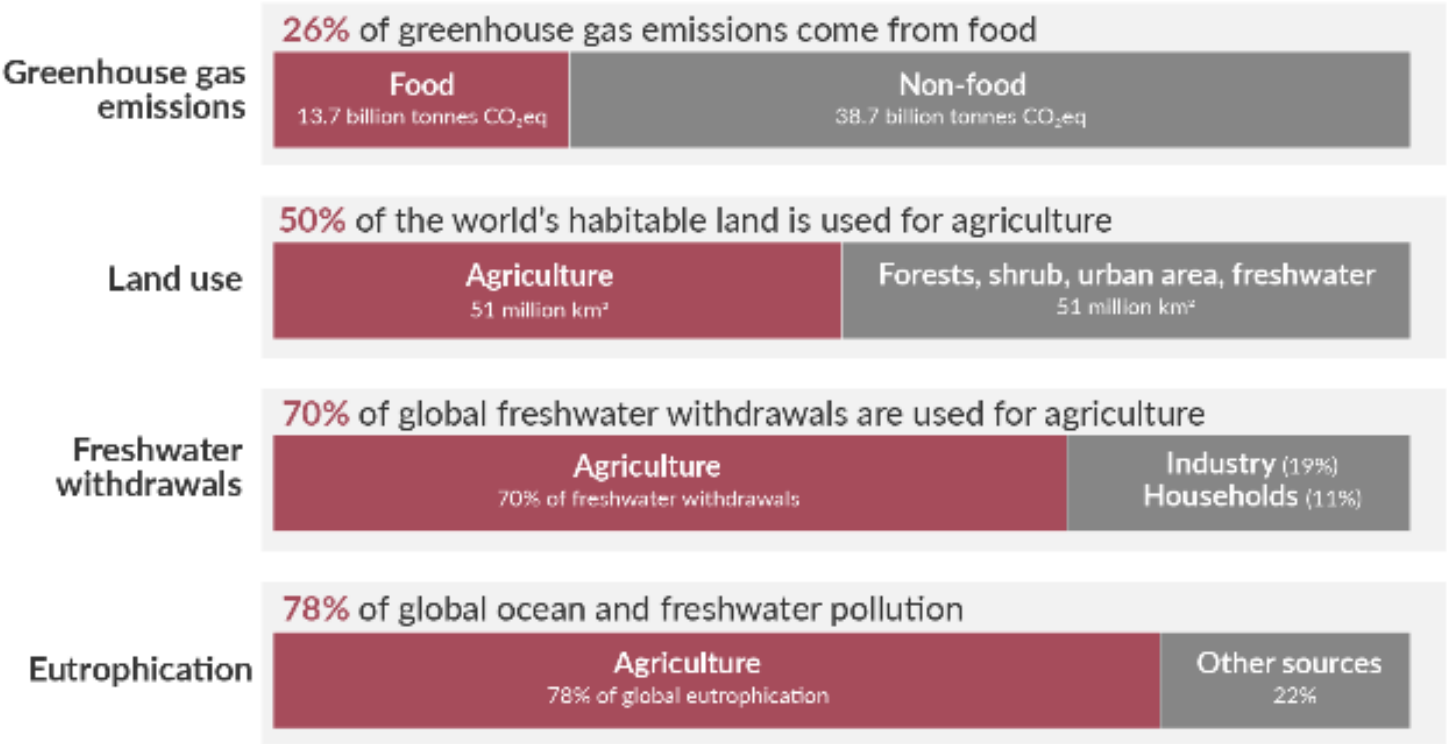
Fuente: Hristov et al, 2020. Extraído de Empieza la cuenta atrás. Impactos del cambio climático en la agricultura española, COAG, 2022.

Los efectos del cambio climático ya se habrían producido desde mediados del siglo XX, habiéndose estimado que la productividad de los cultivos a escala mundial sería un 21% más elevada en caso de no darse la situación de cambio climático.

2.4. La transición hacia sistemas de cultivo más sostenibles

Dado el potencial impacto negativo de la agricultura sobre los ecosistemas resulta necesario reducir la utilización de insumos y adoptar técnicas que permitan la sostenibilidad de los agrosistemas a largo plazo.

Impactos ambientales de la producción de alimentos y la agricultura a escala global



Fuente: OurWorldinData, a partir de Poore y Nemecec, 2018, FAO, AQUASTAT y Bar On et al, 2018.

La aplicación de la Estrategia Farm to Fork permitirá reducir los impactos ambientales asociados al sistema agroalimentario. No obstante, la aplicación de la misma, sin medidas adicionales, supondría una reducción de los rendimientos agrícolas entre un 5% y un 15%.

Resumen de los principales impactos de las Estrategias Farm to Fork y de Biodiversidad bajo tres escenarios

Fuente: Economic and Food Security Impacts of Agricultural Input Reduction Under the European Green Deal’s Farm to Fork and Biodiversity Strategies. USDA, 2021 .

	European Union	United States	Worldwide
Scenario: EU adoption only			
Production (percent change)	-12	0	-1
Prices (percent change)	17	5	9
Imports (percent change)	2	-3	-2
Exports (percent change)	-20	6	2
Gross farm income (percent change)	-16	6	2
Increase in food cost (annual per capita change in U.S. dollars)	153	59	51
Increase in food insecurity ² (millions of people)	na ¹	na	22
GDP (change, in billions of U.S. dollars)	-71	-2	-94
Scenario: middle ³			
Production (percent change)	-11	0	-4
Prices (percent change)	60	1	21
Imports (percent change)	-10	-7	-9
Exports (percent change)	-10	-2	4
Gross farm income (percent change)	8	1	4
Increase in food cost (annual per capita change in U.S. dollars)	651	16	159
Increase in food insecurity (millions of people)	na	na	103
GDP (change, in billions of U.S. dollars)	-186	<-1	-381
Scenario: global adoption			
Production (percent change)	-7	-9	-11
Prices (percent change)	53	62	89
Imports (percent change)	-5	-15	-4
Exports (percent change)	2	3	17
Gross farm income (percent change)	15	34	450
Increase in food cost (annual per capita change in U.S. dollars)	602	512	185
Increase in food insecurity (millions of people)	na	na	-1,144
GDP (change, billions of U.S. dollars)	-133	-74	

2.4. La transición hacia sistemas de cultivo más sostenibles

*Cambios en la producción (% de variación)
asociados a la consecución de los objetivos de las
Estrategias Farm to Fork y de biodiversidad
(escenario en que estas políticas se aplicasen
únicamente en la UE)*

	2
Rice	-13.2
Wheat	-48.5
Coarse grains	-20
Fruits and vegetables	-5.2
Nuts	-9.2
Oil seeds	-60.7
Sugar crops	-20.5
Other crops	-44
Cattle	-14.8
Hogs	-8.4
Other animals	-18.9
Milk	-11.6
Forestry	5.6
Energy, mining	1.1
Beef	-13.5
Pork	-6.9
Other meat	-12.5
Vegetable oil	-16.2
Milk products	-10.6
Processed rice	-4.3
Sugar	-16.3
Processed food	-4.5
Labor intensive manufactures	3
Other chemicals	1.3
Fertilizers	-5.9
Pesticides	-16.1
Capital intensive manufacturing	1.7
Services	0.2



*Fuente: Economic and Food Security Impacts of Agricultural
Input Reduction Under the European Green Deal's Farm to
Fork and Biodiversity Strategies. USDA, 2021 .*

2.4. La transición hacia sistemas de cultivo más sostenibles

Como consecuencia del decremento de la producción, se prevé un aumento de los costes para los agricultores, que se acabará traduciendo en una reducción de ingresos para los mismos.

Variación (%) de los ingresos de los agricultores como consecuencia de la implantación de las Estrategias Farm to Fork y de Biodiversidad

	EU-only	Middle	Global
EU	-16.4	7.5	14.6
Africa	3.7	11.3	16.6
Argentina	5.9	-4.7	16.9
Brazil	3.4	-2.3	-5.1
Canada	4.1	1.0	25.0
China	1.0	0.9	-4.6
Developed Asia	9.0	1.9	66.5
EFTA	25.8	131.5	111.9
Former USSR and rest of Europe	6.0	3.5	15.9
India	5.3	0.1	48.2
Japan	1.5	1.3	9.6
Mexico and Central America	6.9	0.1	18.8
Middle East and North Africa	2.6	3.7	4.4
Oceania	5.9	-0.1	27.7
Other Asia	6.7	0.1	35.8
Other South America	4.9	-2.1	15.8
Russia	7.9	-3.4	27.6
Turkey	3.7	16.9	18.1
Ukraine	8.8	14.0	6.1
United States	6.2	0.5	34.2
World	2.0	3.6	17.1

Fuente: Economic and Food Security Impacts of Agricultural Input Reduction Under the European Green Deal's Farm to Fork and Biodiversity Strategies. USDA, 2021 .

2.4. La transición hacia sistemas de cultivo más sostenibles

Y en un incremento de precios para los consumidores.

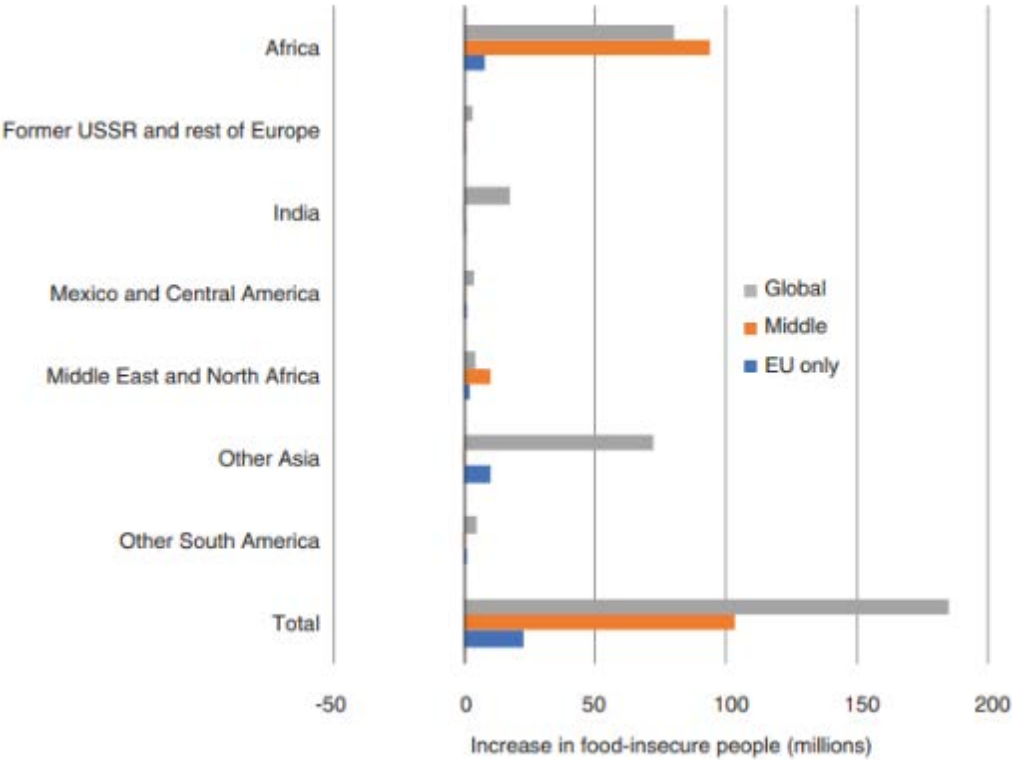
***Cambios en el gasto en alimentación anual per cápita derivados de la implantación de las Estrategias Farm to Fork y de Biodiversidad
(dólares anuales de gasto adicional)***

	EU Only	Middle	Global
EU	153.2	650.5	601.9
Africa	47.0	412.8	381.7
Argentina	56.0	-14.6	501.3
Brazil	76.0	-7.2	665.0
Canada	86.4	24.0	709.7
China	32.5	6.9	542.0
Developed Asia	78.8	23.5	919.2
European Free Trade Association	131.2	680.3	648.0
Former USSR and rest of Europe	82.5	26.7	660.0
India	19.6	1.2	213.7
Japan	56.0	19.1	767.4
Mexico and Central America	58.3	4.4	546.4
Middle East and North Africa	70.8	673.7	539.6
Oceania	71.8	11.0	484.7
Other Asia	32.0	2.0	341.3
Other South America	61.2	-3.0	582.5
Russia	69.4	13.2	527.4
Turkey	75.9	777.5	704.6
Ukraine	109.6	934.1	760.5
United States	58.6	16.2	512.2
World	50.6	159.3	450.1

2.4. La transición hacia sistemas de cultivo más sostenibles

En caso de no tomarse medidas adicionales, la implementación de las Estrategias Farm to Fork y de Biodiversidad, acabarían produciendo un **incremento en 20 millones de la población en situación de inseguridad alimentaria a nivel mundial.**

Incremento neto de la población en situación de inseguridad alimentaria derivado de los tres escenarios de implementación de las políticas de las Estrategias Farm to Fork y de Biodiversidad.



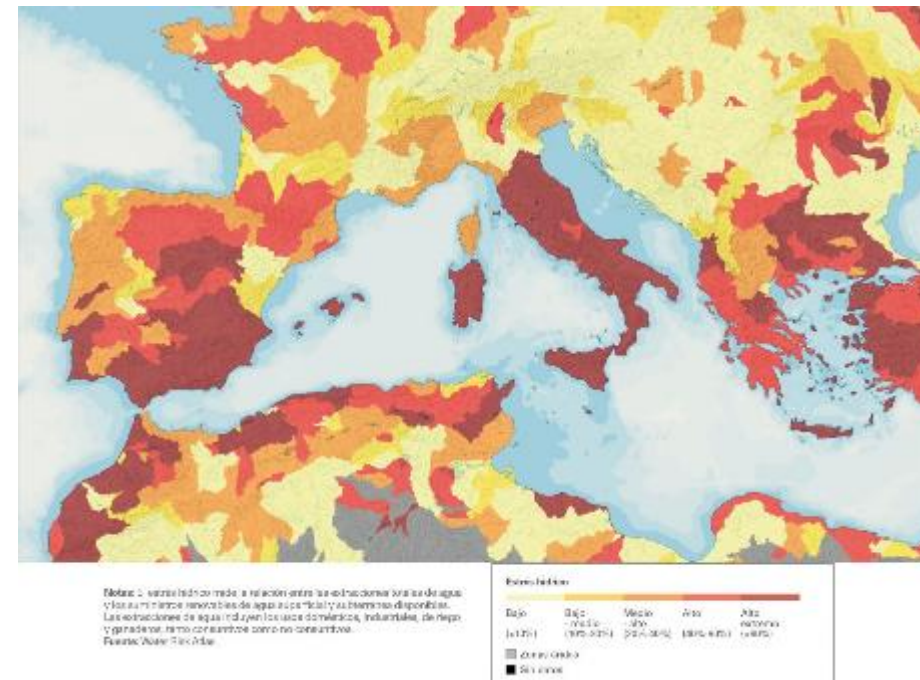
Fuente: Economic and Food Security Impacts of Agricultural Input Reduction Under the European Green Deal's Farm to Fork and Biodiversity Strategies. USDA, 2021 .

2.5. El incremento de coste de los insumos agrarios

La agricultura también se enfrenta a la necesidad de reducir los inputs de los cultivos por motivos de carácter económico, asociados al progresivo incremento del coste de las materias primas empleadas.

- Se prevé un incremento de la demanda de productos como fertilizantes de carácter mineral y otros agroquímicos que, asociado a basarse su producción en recursos de carácter no renovable o con una elevada intensidad energética, hará que progresivamente el precio de estos elementos se incremente. En este contexto, cabe destacar que la UE depende de fuentes externas para la mayoría de los fertilizantes que consume: nitrógeno inorgánico (un 30%), fosfato (un 68%) y potasio (un 85%).
- Es previsible que se produzca un incremento del precio de otros recursos como el agua para usos agrícolas, al tratarse de un recurso que, pese a ser renovable, es limitado, y cuya disponibilidad se prevé que se vera reducida en las próximas décadas.

Estrés hídrico en el sur de Europa.

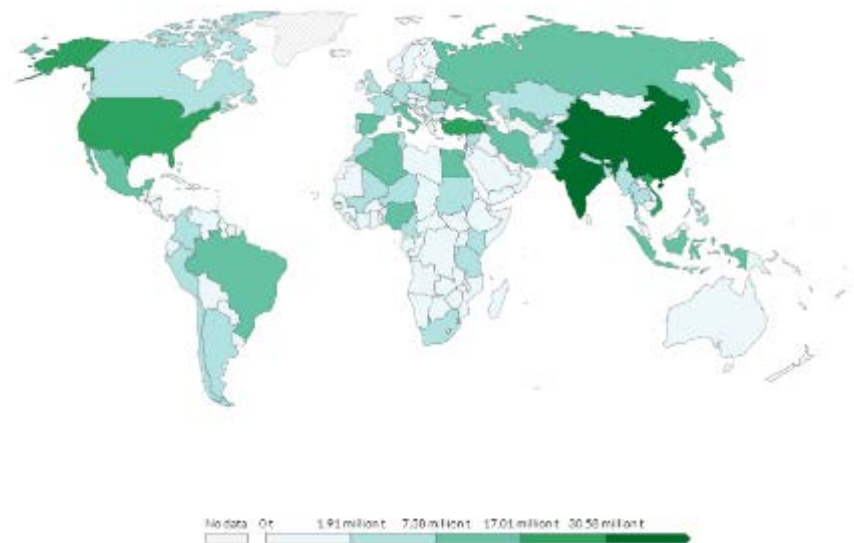


Fuente: Monturiol, J., CaixaBank Research, 2022.

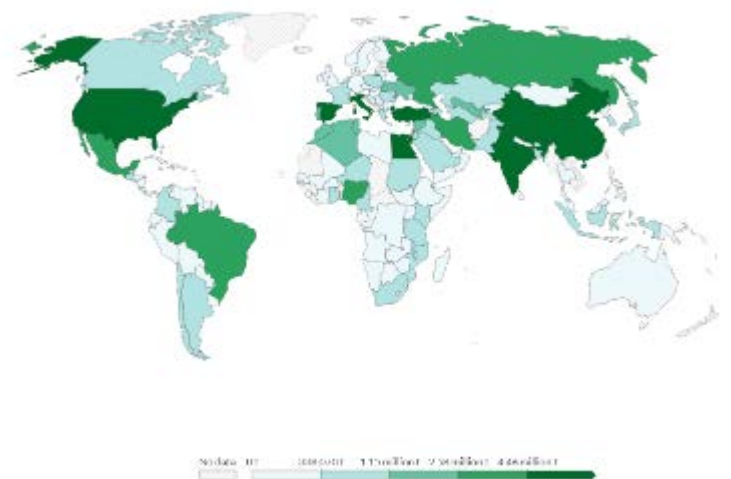
2.6. La necesidad de garantizar la sostenibilidad económica de la producción agrícola

Resulta necesario que las medidas adoptadas para hacer frente al resto de retos vengan acompañadas de instrumentos que permitan garantizar la competitividad de los cultivos y de las zonas donde se producen, de lo contrario, se podría asistir a la pérdida de sectores económicos y de forma asociada, a dinámicas de despoblación de las zonas productoras.

Producción mundial de hortalizas por países en 2021



Producción mundial de tomate por países en 2021





Antecedentes



Desafíos de carácter
estructural



Desafíos de carácter coyuntural



Necesidad de incremento
de rendimiento para hacer
frente a los desafíos



Barreras existentes para
que la mejora vegetal
pueda dar respuesta a los
desafíos



Reflexión final

3. Desafíos de carácter coyuntural

A los retos de carácter estructural se añaden desafíos de carácter coyuntural asociados al escenario actual de crisis episódicas, continuadas y superpuestas (COVID-19, guerra de Ucrania....). Pese a sus ventajas, la globalización también hace a la producción agraria susceptible de ser afectada por disrupciones que emergen en el ámbito internacional, especialmente cuando alguna de las zonas “granero” del mundo se ven afectadas por crisis climáticas, geopolíticas, etc.





Antecedentes



Desafíos de carácter
estructural



Desafíos de carácter coyuntural



**Necesidad de incremento
de rendimiento para hacer
frente a los desafíos**



Potencial de contribución
de la mejora vegetal



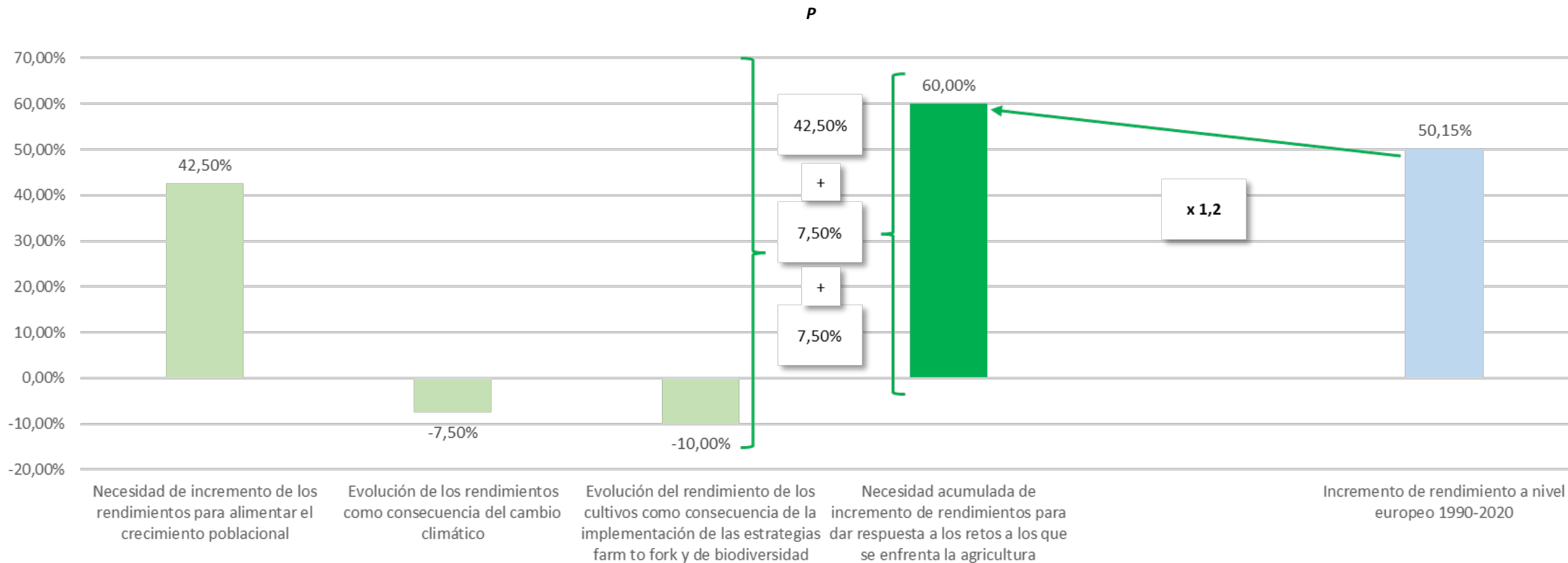
Barreras existentes para
que la mejora vegetal
pueda dar respuesta a los
desafíos



Reflexión final

4. Necesidad de incremento de rendimiento para hacer frente a los desafíos

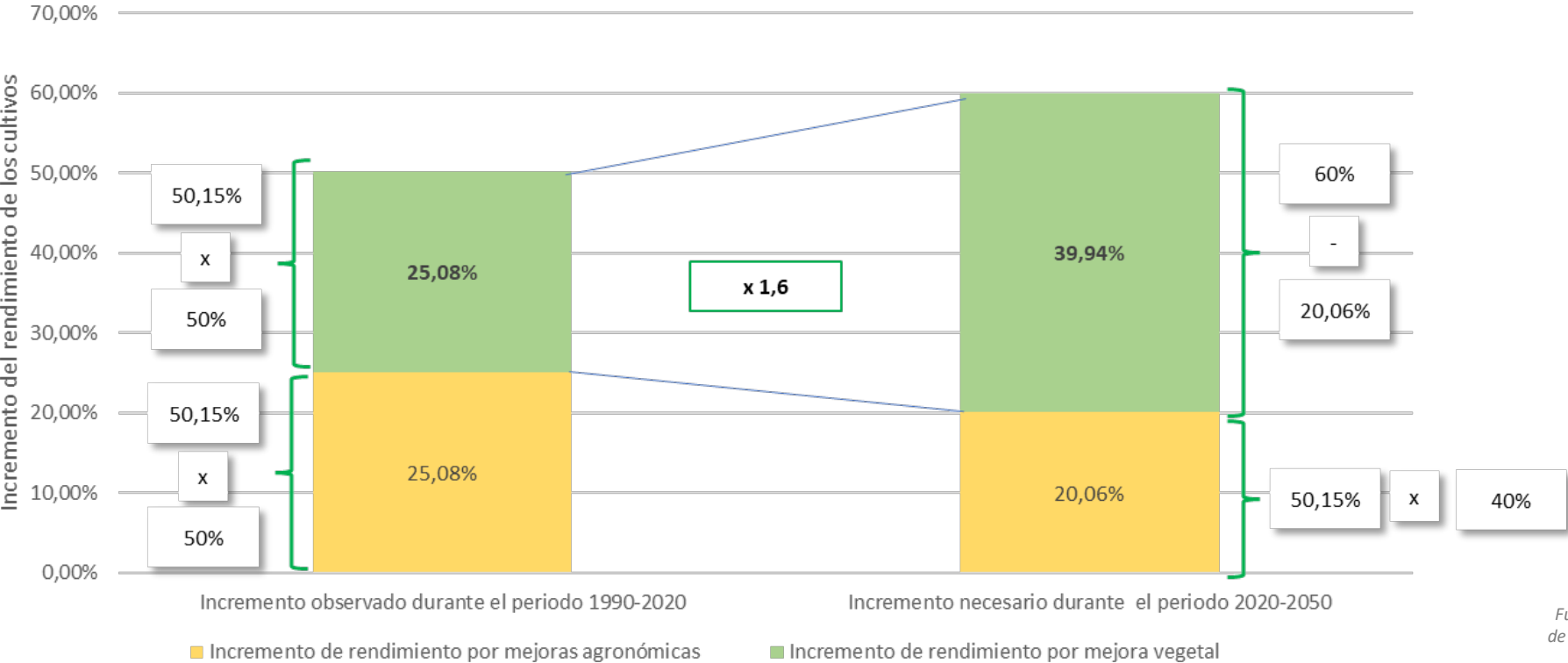
Como consecuencia de la combinación de los diferentes desafíos a los que debe hacer frente la agricultura, en 2050 será necesario incrementar, en promedio y a escala europea, un 60% los rendimientos de los cultivos respecto a la situación actual.



4. Necesidad de incremento de rendimiento para hacer frente a los desafíos

El incremento de rendimiento de los cultivos en los próximos años no podrá basarse tanto en la tecnificación agrícola, dada la necesidad de producir más con menos recursos.

Por este motivo, el papel de la mejora vegetal deberá ser necesariamente superior al observado en el pasado



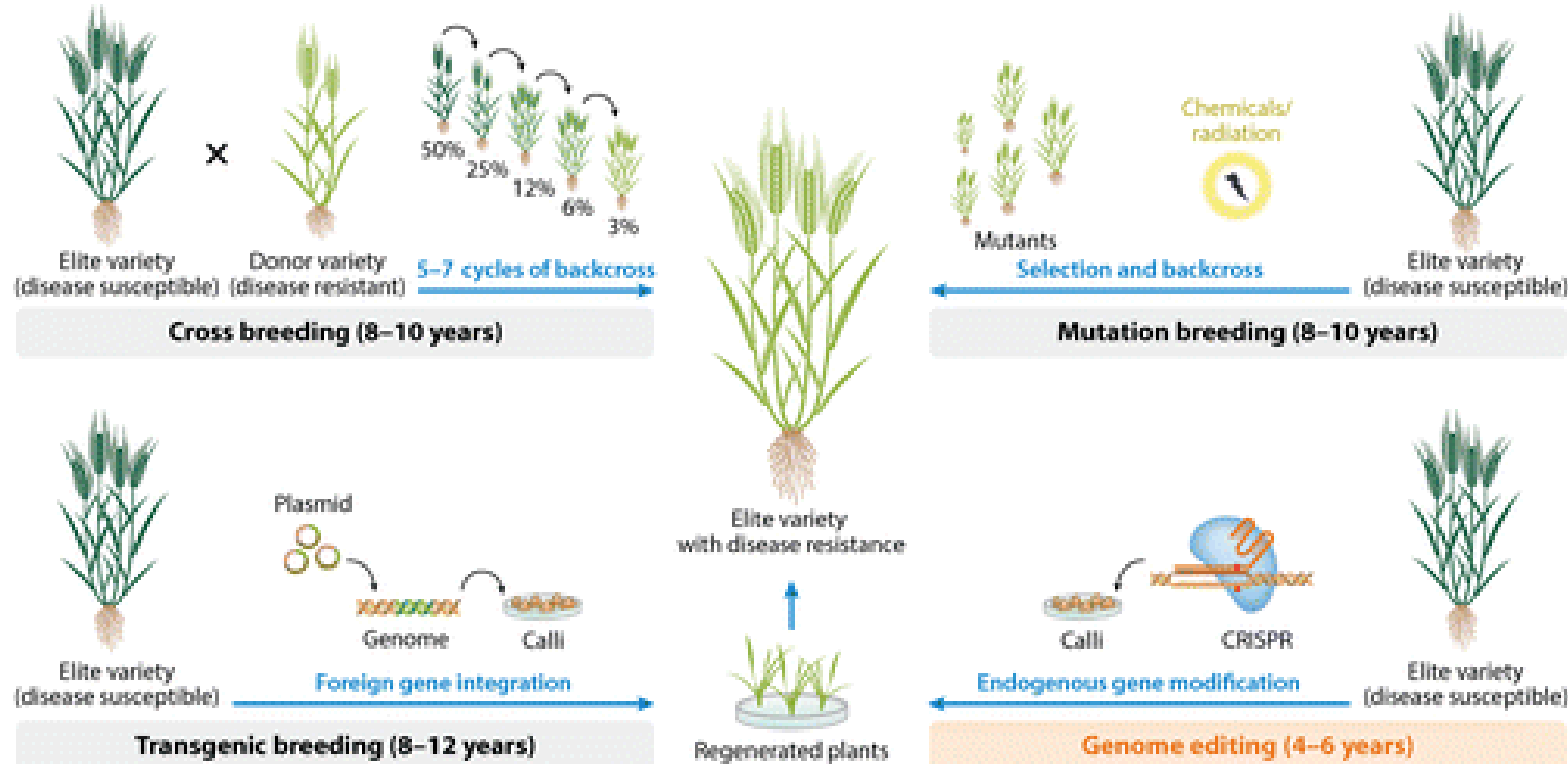
Incremento de rendimientos en la UE aportados por la mejora vegetal y por las mejoras agronómicas entre 1990 y 2020. Máximo incremento de rendimiento que podrán aportar las mejoras agronómicas entre 2020 y 2050 y necesidad de incremento de rendimientos en este período que deberá ser aportado por la mejora vegetal

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de base de la FAO y de Noleppa S., Calrsburg, M., 2021.

4. Necesidad de incremento de rendimiento para hacer frente a los desafíos

Para alcanzar los objetivos, el ritmo de innovación en mejora vegetal hasta 2050 deberá ser un 60% más acelerado que el observado en las tres décadas anteriores.

Las nuevas técnicas de edición genética permitirían conseguir esta aceleración

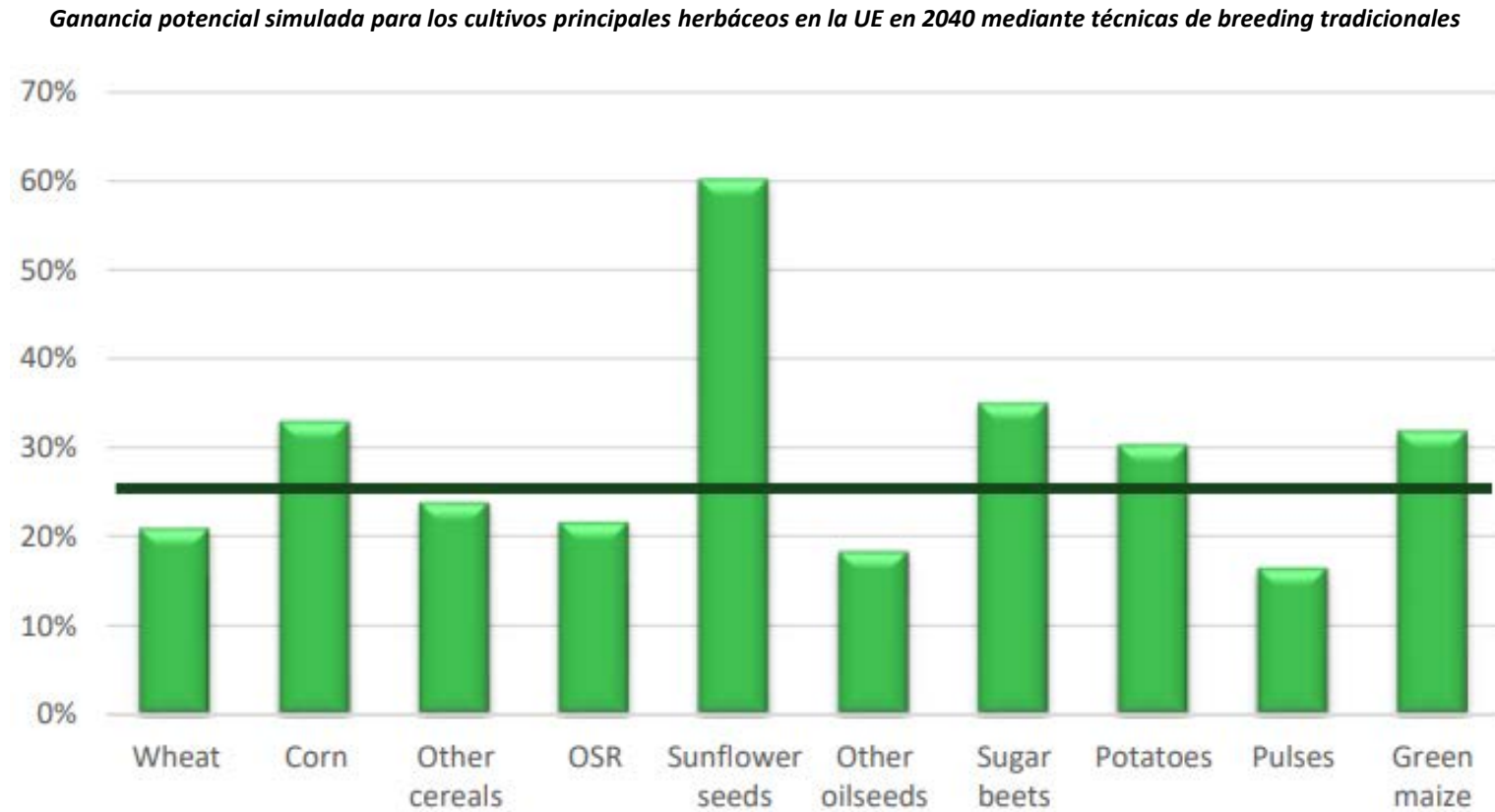


Tiempo medio de producción de una nueva variedad vegetal con las características deseadas mediante diferentes técnicas de mejora vegetal

Fuente: CRISPR/Cas Genome Editing and Precision Plant Breeding in Agriculture. Chen K. et al., 2019.

4. Necesidad de incremento de rendimiento para hacer frente a los desafíos

En el mejor de los escenarios, la mejora de rendimiento sin edición en 2040 sería de un 26,3%.



Fuente: *The socio-economic and environmental values of plant breeding in the EU and for selected EU member states.* Noleppa S., Carlsburg M., 2021.



Antecedentes



Desafíos de carácter
estructural



Desafíos de carácter coyuntural



Necesidad de incremento
de rendimiento para hacer
frente a los desafíos



**Potencial de contribución
de la mejora vegetal**



Barreras existentes para
que la mejora vegetal
pueda dar respuesta a los
desafíos



Reflexión final

Las nuevas técnicas genómicas permiten la edición genética sin alteraciones en la composición genética global de la variedad del cultivo, preservando sus características originales.

Estas técnicas permiten un mayor control que las tradicionales sobre los rasgos específicos que se desean introducir o modificar en los cultivos.

La edición genética de plantas ha abierto un amplio abanico de posibilidades en la obtención de variedades diversas y mejoradas, proporcionando herramientas para abordar desafíos concretos y mantener la seguridad alimentaria en un mundo en constante cambio.

A continuación, se describen una serie de avances destacados en mejora genética, mediante edición, desarrolladas mediante esfuerzos de investigación en los ámbitos público y privado en los últimos años

5. Potencial de contribución de la mejora vegetal



Ejemplos de mejora en el caso del trigo

Resistencia del trigo a condiciones climáticas adversas

Los esfuerzos dedicados a la investigación de la genética del trigo han permitido identificar un grupo de genes relacionados con la longitud de las raíces de este cereal. Una menor dosis de este gen produce **plantas con raíces más largas**, por ello, los científicos esperan que estos hallazgos puedan llevar al **mejoramiento de cultivos de trigo más resistentes a la sequía**.

Resistencia del trigo a plagas y enfermedades

Recientemente se ha empleado CRISPR/Cas9 para eliminar ciertos genes que hacen al trigo susceptible a enfermedades, como por ejemplo el gen MLO (Mildew-Resistance Locus): mediante la eliminación de 6 dotaciones de este gen, se ha logrado una **variedad con una mayor resistencia al oídio**, una enfermedad provocada por hongos.

Mejora de las cualidades agronómicas del trigo

Mediante el empleo de técnicas de edición genérica se ha conseguido desarrollar variedades con una captación más eficiente del nitrógeno, aspecto que permite reducir las necesidades de fertilizantes de los cultivos, en línea con la Estrategia Farm to Fork. **Asimismo, recientemente se ha logrado modificar la estructura del trigo mediante la modificación de un gen con CRISPR, permitiendo aumentar el número de granos por espiga**. La introducción de esta innovación en programas de mejoramiento tiene un gran potencial para desarrollar nuevas variedades con mayores rendimientos.

Mejora de las propiedades organolépticas y la calidad nutricional del trigo

Un equipo de biólogos del Rothamsted Research en el Reino Unido ha logrado utilizar el sistema de edición genética CRISPR-Cas9 para inactivar el gen de la asparagina en trigo (molécula con potencial carcinogénico). Los resultados, obtenidos en 2023, mostraron una reducción de aproximadamente el 50% en la producción de asparagina en el grano, en comparación con las plantas no modificadas utilizadas en el mismo estudio. En España, un equipo en el Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC) ha conseguido eliminar los genes de las Alpha gladinas responsables de disparar la respuesta inmune en patologías relacionadas con la ingesta de gluten. Las líneas de trigo resultantes muestran una respuesta inmune un 85% menos inferior que el trigo estándar.

5. Potencial de contribución de la mejora vegetal



Ejemplos de mejora en el caso de la cebada

Resistencia de la cebada a condiciones climáticas adversas

En 2022 se identificaron diversos conjuntos de genes candidatos a ser editados para desarrollar nuevos cultivares con una **mayor tolerancia a la sequía** y asegurar el bienestar del cultivo bajo condiciones adversas.

Asimismo, se han desarrollado algunas variedades con **mayor resistencia al estrés salino**, gracias a la modificación con CRISPR de ciertos genes que codifican para enzimas relacionadas con la vía metabólica del inositol.

Resistencia de la cebada a plagas y enfermedades

Mediante la edición de genes relacionados con la susceptibilidad de distintos patógenos, se han logrado recientemente variedades resistentes a éstos: desde la resistencia a hongos con gran afectación al cultivo de la cebada, a resistencia a diferentes virus, como el del mosaico de la cebada.

Mejora de las cualidades agronómicas de la cebada

Hay distintos aspectos agronómicos que han podido ser modificados y tienen impactos directos en la biomasa y la productividad de la cebada, como modificaciones en la regulación de las citoquininas, y **mejoras en la absorción del nitrógeno en condiciones limitantes de fertilizantes**, mediante la edición de genes específicos (HvARE1). La edición genética también abre la posibilidad de **moderar el fotoperiodo de la cebada**, adaptando la planta a diferentes condiciones y horas de sol.

Mejora de las propiedades organolépticas de la cebada

La **edición genética** permite modificar genes del grano de la cebada, especialmente para mejorar su calidad nutricional, aspecto que no había podido ser abordado en las últimas décadas debido a la imposibilidad, mediante técnicas tradicionales, de aislar estos genes en el desarrollo de variedades más productivas en los programas de mejora vegetal.

5. Potencial de contribución de la mejora vegetal



Ejemplos de mejora en el caso del maíz

Resistencia del maíz a condiciones climáticas y abióticas adversas

En el cultivo del maíz se han logrado conseguir variedades editadas genéticamente adaptadas a condiciones de escasez de agua, o con una mayor tolerancia a episodios de sequía, sin afectar gravemente a su productividad, pese a que aún no están comercializadas.

Resistencia del maíz a plagas y enfermedades

Mediante la edición de genes relacionados con la susceptibilidad a distintos patógenos, se han logrado recientemente resistencias del maíz a estos, por ejemplo, mediante la edición del gen de la Lipoxigenasa 3, logrando resistencia al carbón del maíz, enfermedad provocada por el hongo *Ustilago maydis*. Por otro lado, en marzo de 2023, se anunció el lanzamiento al mercado de una variedad de maíz editada genéticamente que permite combinar y reposicionar los rasgos de resistencia a enfermedades que ya se encuentran en el genoma del maíz, aumentando aún más el potencial de rendimiento.

Mejora de las cualidades agronómicas del maíz

Un equipo de investigación ha logrado crear un híbrido de maíz con un mayor rendimiento mediante deleciones en su genoma. Asimismo, ensayos de campo realizados en China de maíz editado genéticamente, han permitido obtener un rendimiento un 10% superior frente a la variedad de base.

Mejora de las propiedades organolépticas del maíz

En cuanto a la mejora de la calidad nutricional del maíz, se ha logrado editar una variedad de maíz para dar lugar a una síntesis reducida de ácido fítico (un anti-nutriente) mediante la edición de un gen concreto (IPK1), permitiendo así la creación de nuevas variedades con mejor perfil nutricional.

5. Potencial de contribución de la mejora vegetal



Ejemplos de mejora en el caso del tomate

Resistencia del tomate a condiciones climáticas y abióticas adversas

Estudios recientes han logrado conseguir **variedades de tomate con mayor tolerancia al déficit de agua**, por ejemplo, mediante la edición de receptores de la giberelina, suprimiendo la proliferación del xilema y reduciendo así la pérdida de agua, o mediante la reducción de la expresión de un factor de transcripción (proteína que ayuda a controlar la expresión de los genes) que se expresa en fruto de raíz.

Asimismo, también ha destacado en los últimos años el **desarrollo de resistencias al estrés salino**, mediante la escisión de un gen que regula la respuesta de la planta a entornos salinos, dando una mayor tolerancia en el estado de germinación y el estado vegetativo a esas condiciones.

Resistencia del tomate a plagas y enfermedades

Existen multitud de modificaciones mediante edición genética que permiten la **resistencia del tomate frente a plagas y enfermedades**. En la base de datos de plantas editadas genéticamente EU Sage, llegan a encontrarse hasta 27 variedades con resistencia a distintos patógenos. Algunos ejemplos destacados van desde la mejora en la resistencia contra virus, como por ejemplo el del encrespamiento amarillo del tomate, o hongos, como por ejemplo *Phytophthora infestans*.

Mejora de las cualidades agronómicas del tomate

La edición genética del tomate alberga un **gran potencial en mejora de su productividad**. Un estudio de 2017 revela que mediante la edición con CRISPR de rasgos genéticos cuantitativos, se podría **incrementar el número de flores o el tamaño del fruto**, hecho que puede conferir mejoras productivas en su rendimiento. Otro de los descubrimientos recientes más relevantes es la mutación de un gen que da lugar a un fenotipo de planta de menor altura y más compacta, compatible con su **desarrollo en alta densidad productiva**.

Mejora de las propiedades organolépticas del tomate

Desde 2021, el tomate es el primer producto hortícola editado con CRISPR que ha llegado al mercado. Comercializado en Japón por la empresa Sanatech, este tomate está enriquecido con GABA, un neurotransmisor relacionado con la reducción de la presión arterial. Asimismo, se han desarrollado tomates con cantidades incrementadas de carotenoides, licopenos y β -carotenos, compuestos vegetales con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

5. Potencial de contribución de la mejora vegetal

Ejemplos de mejora en el caso del pimiento



Resistencia del pimiento a condiciones climáticas y abióticas adversas

Hay grandes oportunidades para mejorar el rendimiento, la calidad de los frutos y la resistencia al estrés biótico en los cultivos de pimiento, mediante la edición genética. En este sentido, un estudio reciente ha identificado el gen CaCIPK3 como un **regulador positivo de la tolerancia a la sequía de los pimientos**, destacando la importancia de la investigación genética en la mejora de estas características.

Resistencia del pimiento a plagas y enfermedades

La edición genética del pimiento ha logrado importantes avances en la resistencia a plagas y enfermedades, con investigaciones sobre la edición de genes que **aumentan la resistencia a hongos y virus** causantes de pérdidas significativas en la producción a nivel mundial. Un ejemplo de esto es un estudio donde se demuestra que, mediante la modificación de un gen concreto, el pimiento se vuelve más resistente a la antracnosis, enfermedad causada por un hongo de la familia *Colletotrichum*, cuyo manejo mediante métodos tradicionales no ha tenido un éxito notable.

5. Potencial de contribución de la mejora vegetal



Ejemplos de mejora en el caso de la soja

Resistencia de la soja a condiciones climáticas y abióticas adversas

En 2022 se hizo un experimento con una variedad de soja en la que se sobreexpresó un gen relacionado con la producción de proteínas de shock térmico. Los resultados mostraron que las plantas modificadas genéticamente exhibieron una **mayor capacidad para sobrevivir y crecer en condiciones de sequía** en comparación con las plantas no modificadas. Por otro lado, en 2021 se realizó un estudio para evaluar la tolerancia de la soja a la salinidad y cómo la edición genética podría contribuir a mejorarla. Mediante la manipulación de genes relacionados con la respuesta al estrés salino, se lograron desarrollar variedades de soja genéticamente modificadas que mostraron una **mayor tolerancia a la salinidad**.

Resistencia de la soja a plagas y enfermedades

La edición genética también ha abierto la puerta a la mejora de la resistencia de la soja frente a hongos, bacterias, virus o plagas. Un ejemplo destacado es el de un estudio publicado en 2021, donde se logró una **resistencia incrementada a *Phytophora sojae*, patógeno** que afecta a la soja a nivel mundial. Asimismo, diversas investigaciones también han logrado **sojas resistentes a insectos que muerden las hojas de la planta**.

Mejora de las cualidades agronómicas de la soja

En un estudio realizado en 2021, se exploró la mejora del número de semillas por vaina mediante la edición genética. El equipo identificó genes relacionados con la determinación de este aspecto y los modificó en plantas de soja. Los resultados revelaron que las plantas genéticamente modificadas presentaron un **aumento significativo del número de semillas por vaina** en comparación con las plantas no modificadas.

En otro estudio desarrollado en 2020, se investigó el control de la floración en la soja mediante la edición genética. Utilizando técnicas de edición genética, los investigadores lograron modificar genes involucrados en la regulación del tiempo de floración en las plantas de soja. Como resultado, se observó un control más preciso del tiempo de floración, lo que podría permitir una mejor adaptación de la soja a diferentes condiciones ambientales y maximizar el rendimiento de la soja en terrenos de alta altitud.

Mejora de las propiedades organolépticas de la soja

La soja editada genéticamente es otro de los cultivos que ya ha llegado al mercado, en este caso, de EEUU de la mano de la empresa Calyxt. Esta empresa ha logrado producir soja con ácidos grasos de alto contenido oleico y con un 20% menos de ácidos grasos saturados en comparación con el aceite de soja convencional.

5. Potencial de contribución de la mejora vegetal

Ejemplos de mejora en el caso del girasol



El girasol es un cultivo al alza en la agricultura española. Sin embargo, hasta fechas recientes, no se habían desarrollado de forma efectiva herramientas para su edición genética. No obstante, en 2023 se publicó un estudio que marcó un hito importante al presentar avances en la técnica de modificación genética del girasol, permitiendo su modificación de manera más eficaz y accesible para investigadores e industria.

Estos avances están destinados a mejorar tanto la calidad del cultivo como su resistencia a diversos factores de estrés. En este sentido, mediante la edición genética, se ha logrado, por ejemplo, desactivar un gen específico (FAD2-1), que permitiría aumentar la producción de ácido oleico en el girasol, dando lugar a un girasol con un perfil nutricional más atractivo, ya que este tipo de ácido contribuye a reducir las lipoproteínas de baja densidad y aumentar las proteínas beneficiosas de alta densidad.



5. Potencial de contribución de la mejora vegetal

Ejemplos de mejora en el caso de lentejas y garbanzos

Resistencia de lentejas y garbanzos a condiciones climáticas y abióticas adversas

En el caso de la lenteja, el estrés por sequía es el principal estrés abiótico que causa efectos graves en su crecimiento y desarrollo. Por lo tanto, es necesario establecer soluciones innovadoras y sostenibles para reducir los efectos adversos de la sequía en el cultivo de lentejas. Un estudio reciente **investigó los posibles genes candidatos a ser editados genéticamente para mejorar su rendimiento en entornos propensos a la sequía**, condición que, en general, afecta a la germinación, la fotosíntesis, las relaciones hídricas, el crecimiento de la parte aérea y las raíces de la lenteja, lo que reduce el rendimiento final.



Este hecho también ocurre en el garbanzo. En este caso, un estudio reciente analiza el progreso en las herramientas de edición del genoma y sus aplicaciones en el desarrollo de cultivos de garbanzo, las limitaciones científicas y las perspectivas futuras para la biofortificación de la citoquinina deshidrogenasa, la nitrato reductasa y la superóxido dismutasa para **inducir resistencia a la sequía, tolerancia al calor y mayor rendimiento en el garbanzo** para enfrentar el cambio climático global, el hambre y las amenazas nutricionales.





Antecedentes



Desafíos de carácter
estructural



Desafíos de carácter coyuntural



Necesidad de incremento
de rendimiento para hacer
frente a los desafíos



Potencial de contribución
de la mejora vegetal



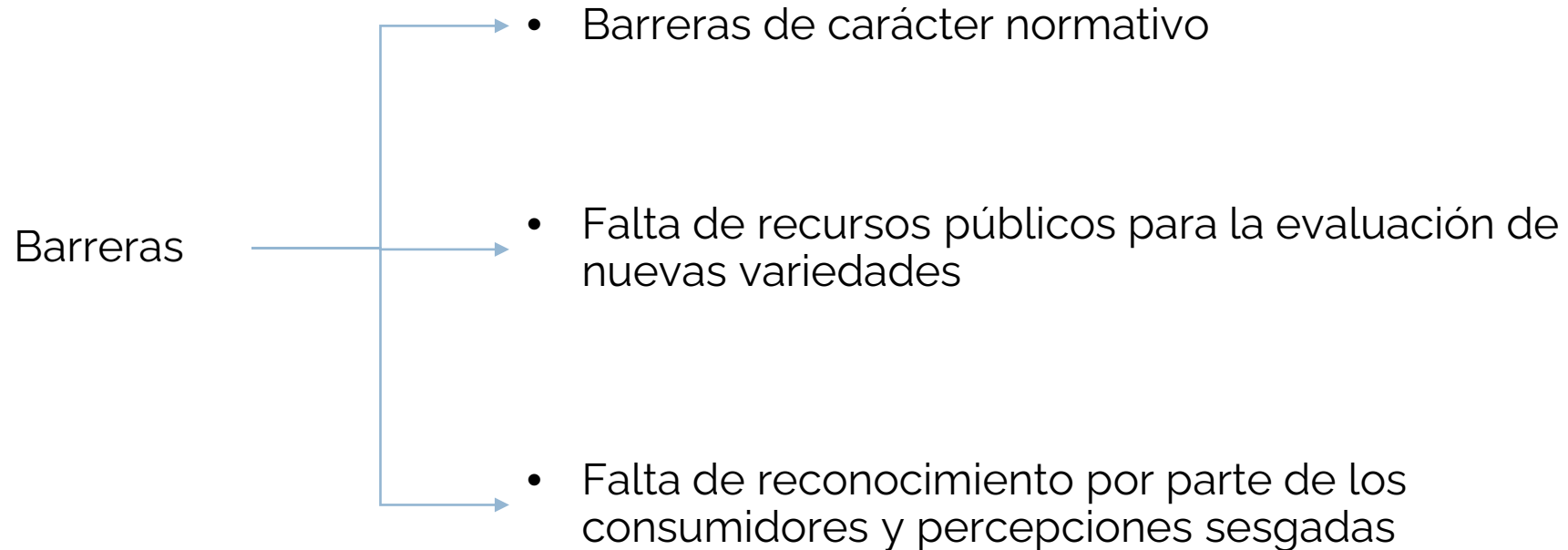
**Barreras existentes para
que la mejora vegetal
pueda dar respuesta a los
desafíos**



Reflexión final

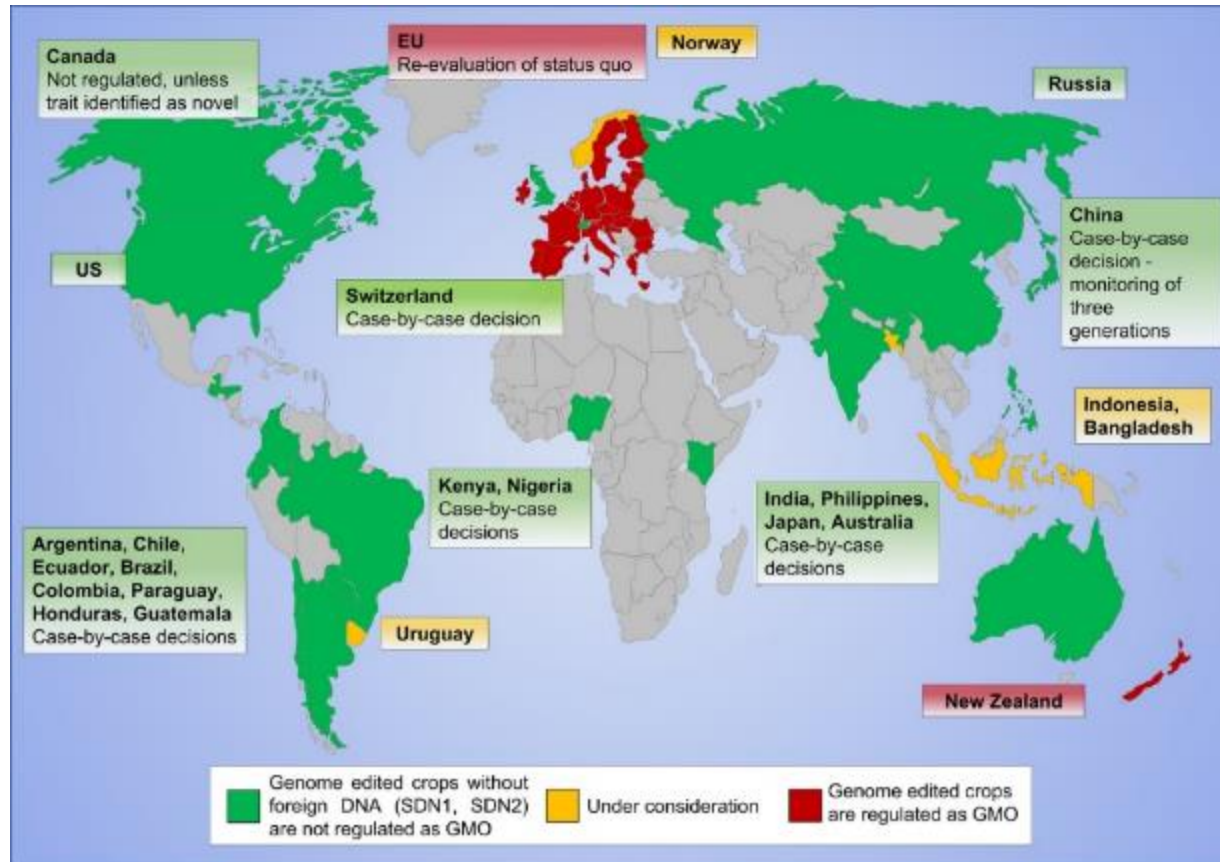
6. Barreras existentes para que la mejora vegetal pueda dar respuesta a los desafíos de la producción alimentaria

Existen una serie de barreras que impiden que la mejora vegetal alcance todo su potencial.



6.1. Barreras de carácter normativo

Marcos legislativos no armonizados para una producción de alimentos global



Marco regulatorio para la edición genética en plantas en 2022

Fuente: An increasing number of countries regulate genome editing in crops. Buchholzer, M. y Frommer, W.B., 2022.

Distintos países han empezado a reconocer a las plantas editadas genéticamente (que no contienen ADN foráneo) como plantas equivalentes a aquellas producidas por mejora convencional, usando regulaciones que tienen en cuenta las características del producto final obtenido, y no tanto en la técnica empleada para la obtención.

Marco legal europeo: un futuro incierto para la innovación en mejora vegetal

Criterios de equivalencia entre vegetales obtenidos con NTG y vegetales convencionales (Cat. 1)

Un vegetal obtenido con NTG se considera equivalente a los vegetales convencionales cuando difiere del vegetal receptor/parental **en no más de veinte modificaciones genéticas** de los tipos mencionados en los puntos 1 a 5, en cualquier secuencia de ADN que comparta la similitud con el sitio destinatario que pueda predecirse mediante herramientas bioinformáticas:

- 1) sustitución o inserción de un máximo de veinte nucleótidos;
- 2) supresión de cualquier cantidad de nucleótidos;
- 3) a condición de que la modificación genética no interrumpa un gen endógeno:
 - a) inserción dirigida de una secuencia contigua de ADN existente en el patrimonio genético del obtentor;
 - b) sustitución dirigida de una secuencia de ADN endógeno por una secuencia contigua de ADN existente en el patrimonio genético del obtentor;
- 4) inversión dirigida de una secuencia de cualquier cantidad de nucleótidos;
- 5) cualquier otra modificación dirigida de cualquier tamaño, a condición de que las secuencias de ADN resultantes ya se produzcan (posiblemente con modificaciones aceptadas en los puntos 1 o 2) en una especie del patrimonio genético de los obtentores.

Rasgos que justifican incentivos para el desarrollo de vegetales de categoría 2

- 1) rendimiento, incluidos la estabilidad del rendimiento y el rendimiento en condiciones de bajos insumos;
- 2) tolerancia/resistencia a tensiones bióticas, como enfermedades de los vegetales causadas por nematodos, hongos, bacterias, virus y otras plagas;
- 3) tolerancia/resistencia a tensiones abióticas, como las creadas o exacerbadas por el cambio climático;
- 4) uso más eficiente de los recursos, como el agua y los nutrientes;
- 5) características que mejoren la sostenibilidad del almacenamiento, la transformación y la distribución;
- 6) mejora de la calidad o de las características nutricionales;
- 7) menor necesidad de insumos externos, como productos fitosanitarios y fertilizantes.

Patrick Hsu: “La edición genética ya cura pacientes en fase clínica, y es probable que haya tratamientos CRISPR en un año”

Este biólogo es uno de los investigadores punteros en el mundo en las conocidas como tijeras moleculares, una incipiente herramienta de edición genética que ha despertado grandes expectativas en el tratamiento de ciertas enfermedades

— Edición genética: aprendiendo a usar las tijeras moleculares

6.2. Falta de recursos públicos para la evaluación

Resulta necesario que las diferentes administraciones destinen los recursos económicos y humanos necesarios para las tareas de evaluación y aprobación de nuevas variedades, así como para agilizar los diferentes procesos administrativos existentes para dar una respuesta más rápida y eficiente a las demandas de la industria de mejora vegetal.



Falta de conocimiento por parte de los consumidores y percepciones sesgadas



Blog > Bosques

**Estos son los 10 motivos
para decirle no a los
transgénicos** **GREENPEACE**



Antecedentes



Desafíos de carácter
estructural



Desafíos de carácter coyuntural



Necesidad de incremento
de rendimiento para hacer
frente a los desafíos



Potencial de contribución
de la mejora vegetal



Barreras existentes para
que la mejora vegetal
pueda dar respuesta a los
desafíos



Reflexión final



Antecedentes



Desafíos de carácter
estructural



Desafíos de carácter coyuntural



Necesidad de incremento
de rendimiento para hacer
frente a los desafíos



Barreras existentes para
que la mejora vegetal
pueda dar respuesta a los
desafíos



Reflexión final

O se consigue que la actividad obtentora alcance todo su potencial, o no podrá garantizarse la seguridad alimentaria, lo que conllevará tener que hacer frente a un incremento de los gastos en alimentación, a posibles roturas en el suministro de determinados productos, especialmente para aquella población más desfavorecida, y al riesgo de desaparición de sectores económicos, que más allá de su aportación al PIB, han permitido fijar población en entornos rurales que, de lo contrario, habrían tenido y tendrán que hacer frente a dinámicas de abandono rural.



www.icerda.org



@InstitutCerdà



InstitutCerdà

Numància 185 08034 Barcelona Tel 932802323

Diego de León, 30 28006 Madrid Tel 915 639 572

Avenida Suecia 414. Providencia. Santiago de Chile Tel +56 9 4271 1371