

Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la relación del cambio climático con la suficiencia alimentaria, y su impacto en el estado nutricional de la población

Número de referencia: AESAN-2024-004

Informe aprobado por el Comité Científico en su sesión plenaria de 26 de septiembre de 2024

Grupo de trabajo

Araceli Díaz Perales (Coordinadora), Isabel Hernando Hernando, Gema Nieto Martínez, Ana María Rivas Velasco y María Roser Vila Casanovas

Comité Científico

Concepción María Aguilera García Universidad de Granada	María Pilar Guallar Castillón Universidad Autónoma de Madrid	Azucena del Carmen Mora Gutiérrez Universidad de Santiago de Compostela	María Dolores Rodrigo Aliaga Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Houda Berrada Ramdani Universitat de València	Ángel Gil Izquierdo Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Gema Nieto Martínez Universidad de Murcia	María de Cortes Sánchez Mata Universidad Complutense de Madrid
Irene Bretón Lesmes Hospital Gregorio Marañón de Madrid	Ángel José Gutiérrez Fernández Universidad de La Laguna	Silvia Pichardo Sánchez Universidad de Sevilla	Gloria Sánchez Moragas Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Rosa María Capita González Universidad de León	Isabel Hernando Hernando Universitat Politècnica de València	María del Carmen Recio Iglesias Universitat de València	Antonio Valero Díaz Universidad de Córdoba
Araceli Díaz Perales Universidad Politécnica de Madrid	Baltasar Mayo Pérez Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Ana María Rivas Velasco Universidad de Granada	María Roser Vila Casanovas Universitat de Barcelona

Secretario técnico
Vicente Calderón Pascual

Gestión técnica del informe AESAN: Paula Arrabal Durán

Resumen

La suficiencia alimentaria (*food security*) es la forma de cuantificar el grado de acceso de la población a alimentos nutritivos y seguros en todo momento. Depende de varios factores, entre los que se incluyen la disponibilidad y la asequibilidad de dichos alimentos. Este término debe diferenciarse del de seguridad alimentaria (*food safety*), entendida como la disciplina, proceso o acción que previene que los alimentos contengan organismos vivos (bacterias, virus, parásitos) o sustancias químicas que pudieran causar un daño a la salud de las personas consumidoras.

El cambio climático consiste en la modificación del clima debido a actividades antropogénicas, que están alterando la composición atmosférica global y los fenómenos atmosféricos. Existen evidencias de que el cambio climático afecta, a través de diferentes vías, al grado de acceso de la población a alimentos nutritivos y seguros a nivel mundial. Los principales riesgos son: la pérdida de biodiversidad en las zonas rurales; la pérdida de ecosistemas marinos y costeros, y de medios de subsistencia; la pérdida de ecosistemas terrestres y de aguas continentales, y de medios de subsistencia y, por último, el deterioro de los sistemas alimentarios.

En relación con la pérdida de biodiversidad en distintos ecosistemas (marinos y terrestres) debida a este fenómeno, se ha observado un cambio en la distribución y fenología tanto de especies de plantas como de animales, produciéndose un desplazamiento hacia latitudes más frías (meridionalización) y hacia altitudes mayores de las diferentes especies. Se prevé que la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad, reducirán el rendimiento de los cultivos, así como el contenido en nutrientes de los alimentos.

En cuanto a las repercusiones sobre las fuentes de alimentos, está aumentando el riesgo de plagas conocidas, así como de las pérdidas post-cosecha. El incremento en las temperaturas no sólo afecta directamente a los animales, provocando alteraciones metabólicas e inmunitarias, sino que también tiene consecuencias indirectas, dado que está incrementando la población de vectores transmisores de agentes infecciosos.

Por tanto, el cambio climático puede suponer un riesgo sobre el estado nutricional de la población debido a la reducción en la disponibilidad de alimentos, el acceso, la utilización y la estabilidad del sistema alimentario.

Es esencial diseñar formas de adaptación para reducir el impacto neto sobre la suficiencia alimentaria y la nutrición y, de esta manera, aumentar la resiliencia frente al cambio climático. Esto supone un cambio de paradigma hacia una agricultura y unos sistemas alimentarios más resistentes, más productivos y sostenibles, con el objetivo de garantizar la suficiencia alimentaria a nivel mundial ante el cambio climático.

Palabras clave

Cambio climático, suficiencia alimentaria, estado nutricional, biodiversidad.

Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) on the relationship between climate change and food security, and its impact on the nutritional status of the population

Abstract

Food security is the way to quantify the degree of access the population has to nutritious and safe food at all times. It depends on several factors, including the availability and affordability of that food. This term should not be confused with food safety, which is understood to be the discipline, process or action that prevents food from containing living organisms (bacteria, viruses and parasites) or chemical substances that could cause harm to the health of consumers.

Climate change is the climate altering due to anthropogenic activities, which are adversely affecting the global make-up of the atmosphere as well as atmospheric phenomena. There is evidence that in a number of ways, climate change affects the degree of access the population has to nutritious and safe food worldwide. The main risks are: the loss of biodiversity in rural areas; the loss of marine and coastal ecosystems, and thus livelihoods; the loss of terrestrial ecosystems and inland waters, and livelihoods and, finally, the deterioration of food systems.

In relation to the loss of biodiversity in different ecosystems (marine and terrestrial) due to this phenomenon, we have seen a change in the distribution and phenology of both plant and animal species. This means that different species are shifting towards colder latitudes (meridionalization) and towards higher altitudes. It is expected that land degradation and loss of biodiversity will reduce crop yields, as well as the nutrient content of food.

In terms of the repercussions on food sources, the risk of known pests, as well as post-harvest losses, is increasing. The increase in temperatures not only directly affects animals, causing metabolic and immune changes, but also has indirect consequences, since the population of vectors that transmit infectious agents is increasing.

Therefore, climate change can pose a risk to the nutritional status of the population due to the reduction in food availability, access to it, use of it and the stability of the food system.

It is essential to design ways of adapting to climate change to reduce the net impact on food security and nutrition and, in this way, increase resilience to global warming. This represents a paradigm shift towards more resilient, more productive and sustainable agriculture and food systems, with the aim of guaranteeing global food security in the face of climate change.

Key words

Climate change, food security, nutritional status, biodiversity.

Cita sugerida

Comité Científico AESAN. (Grupo de Trabajo) Díaz-Perales, A., Hernando, I., Nieto, G., Rivas, A.M. y Vila, M.R. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la relación del cambio climático con la suficiencia alimentaria, y su impacto en el estado nutricional de la población. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 2024, 40, pp: 11-32.

1. Introducción

La suficiencia alimentaria (*food security*) es la forma de cuantificar el grado de acceso de la población a alimentos nutritivos y seguros. Depende de varios factores, entre los que se incluyen la disponibilidad y la asequibilidad de dichos alimentos (Reino Unido, 2022). Según el *Committee on World Food Security* de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la suficiencia alimentaria existe cuando toda la población, durante todo el tiempo, tiene un acceso físico y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos, que cubran sus necesidades dietéticas para una vida activa y sana (FAO, 2006). Este término debe diferenciarse del de seguridad alimentaria (*food safety*), entendida como la disciplina, proceso o acción que previene que los alimentos contengan organismos vivos (bacterias, virus, parásitos) o sustancias químicas que pudieran causar un daño a la salud de las personas consumidoras.

Recientemente, se ha sugerido el enfoque *One Health* para unificar criterios en la adaptación al cambio climático. Estas políticas pueden contribuir significativamente a garantizar la suficiencia alimentaria, poniendo énfasis en los alimentos de origen animal, los sistemas de ganadería extensiva, el saneamiento ambiental y los pasos hacia una gestión integrada regional y global (Zinsstag et al., 2018).

En la Conferencia de las Partes sobre el Cambio Climático celebrada en Dubai en diciembre de 2023 (COP28), se marcó como uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) acabar con el hambre, mitigar las vulnerabilidades en la producción de alimentos vinculadas al cambio climático y proteger los sistemas hídricos. Para ello, se deben implementar soluciones integradas y multi-sectoriales, como la gestión del uso de la tierra, la agricultura sostenible, sistemas alimentarios resilientes y enfoques basados en ecosistemas, así como del acceso equitativo a una alimentación y nutrición adecuadas para todos (COP28, 2023).

El cambio climático consiste en la modificación del clima debido a actividades antropogénicas, que están alterando la composición atmosférica global y los fenómenos atmosféricos (Naciones Unidas, 1992). Esta alteración se refleja en el incremento de las temperaturas, la disminución de las precipitaciones, la expansión del clima de tipo semiárido y de especies exóticas invasoras. Sus efectos sobre la flora y la fauna tienen un impacto sobre la suficiencia alimentaria y, por tanto, sobre la salud de las personas.

En los últimos años, se están registrando mayor número de eventos climáticos extremos, más frecuentes e intensos, tales como olas de calor, sequías e inundaciones, provocando que algunos sistemas naturales y humanos hayan sido desplazados más allá de su capacidad para adaptarse, causando daños irreversibles a la suficiencia alimentaria (disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad). Por ejemplo, se sabe que si la temperatura mundial aumenta más de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales (actualmente, ha aumentado 1,1 °C), los riesgos de insuficiencia alimentaria serían más severos, conduciendo a desnutrición y deficiencias de micronutrientes, especialmente en regiones en desarrollo del planeta y altamente dependiente de la economía agraria, como el África Subsahariana, sur de Asia, Centroamérica y Sudamérica (IPCC, 2019, 2022).

Por otra parte, el cambio climático también amenaza al resto de los organismos vivos del planeta. Una cuarta parte de las especies de animales y plantas evaluados están bajo amenaza de extinción

(en torno a un millón de especies) (IPBES, 2019). Esta pérdida en la biodiversidad supone peligro para la suficiencia alimentaria. El 10 % de las razas domesticadas de mamíferos y el 3,5 % de las razas domesticadas de aves ya se han declarado extintas. La disminución de la variabilidad genética de las especies puede dar lugar a que los sistemas agrícolas sean más vulnerables a diversas amenazas como plagas y patógenos, así como al cambio climático en sí mismo (IPBES, 2019).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se ha solicitado al Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) que revise las evidencias científicas disponibles en el momento actual sobre los efectos del cambio climático en la suficiencia alimentaria en términos de disponibilidad y biodiversidad, así como su posible impacto en el acceso a los alimentos y en el estado nutricional de la población.

2. Estado actual de la suficiencia alimentaria

La alimentación es una necesidad humana fundamental y la insuficiencia de alimentos resulta en desnutrición. Debido a la pandemia de la COVID-19, el porcentaje de población mundial con desnutrición pasó de ser de un 8,4 % en 2019 a un 9,9 % en 2020 (FAO, 2021). Y este porcentaje no ha dejado de aumentar. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que, para satisfacer la creciente demanda impulsada por el crecimiento de la población y los cambios en la dieta, la producción de alimentos tendrá que aumentar en un 60 % para 2050 (FAO, 2009). Pero, no basta únicamente con incrementar la producción dado que, actualmente, se producen alimentos suficientes, aunque todavía haya casi 800 millones de personas que padecen hambre. Es necesario, además, que todo el mundo tenga acceso a ellos, en la cantidad y calidad adecuadas, todo el tiempo.

Por ello, se pueden resumir los riesgos principales inducidos por el cambio climático con consecuencias directas para la suficiencia alimentaria en estos cuatro puntos principales (FAO, 2015):

- La pérdida de medios de subsistencia e ingresos en las zonas rurales.
- La pérdida de ecosistemas marinos y costeros, y de medios de subsistencia.
- La pérdida de ecosistemas terrestres y de aguas continentales, y de medios de subsistencia.
- Los efectos del deterioro de los sistemas alimentarios.

Además, hay que tener en cuenta que el cambio climático también tiene repercusiones sobre los flujos comerciales, los mercados alimentarios y la estabilidad de los precios, lo cual también perjudican a la suficiencia alimentaria y salud humana.

A continuación, se detallan los efectos sobre la suficiencia alimentaria de cada uno de esos riesgos derivados del cambio climático.

3. Pérdida de medios de subsistencia e ingresos en las zonas rurales

3.1 Sanidad vegetal

El cambio climático representa una amenaza significativa para las comunidades rurales, pero también brinda oportunidades para implementar estrategias de adaptación. Al diversificar los medios de vida, fortalecer la resiliencia ante desastres, promover prácticas sostenibles y conservar los

recursos naturales, las comunidades rurales pueden enfrentar los desafíos del cambio climático y construir un futuro más sostenible y próspero.

Según el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) de las Naciones Unidas, al menos el 70 % de las personas muy pobres vive en zonas rurales, y la mayoría de ellas dependen en parte (o totalmente) de la agricultura para su subsistencia. Se estima que 500 millones de pequeñas explotaciones agrícolas de los países en desarrollo mantienen a casi 2000 millones de personas, y en Asia y África Subsahariana estas pequeñas explotaciones producen alrededor del 80 % de los alimentos consumidos (JRC, 2016).

El cambio climático está teniendo efectos tanto directos como indirectos en los sistemas de producción agrícola. Se clasifican como efectos directos aquellos que están directamente causados por una modificación de las características físicas, como los niveles y la distribución de la temperatura a lo largo del año y la disponibilidad de agua, en una producción agrícola concreta. Los efectos indirectos afectan a la producción a través de cambios en otras especies como polinizadores, plagas, vectores de enfermedades o especies invasoras.

3.1.1 Efectos directos

Los indicadores de vulnerabilidad del sector agropecuario están asociados a variables sociales y productivas, tales como la degradación del suelo, la equidad en la distribución de tierras, los niveles de riesgo frente a eventos extremos, los porcentajes de uso de agua y sistemas de riego, y el grado de cobertura de seguros agrícolas (Frieler et al., 2015).

Respecto a la degradación de suelos, el proceso de erosión es particularmente importante. Este fenómeno es, en gran parte, producto de la expansión de la frontera agrícola como un mecanismo para incrementar la producción, en lugar de mejorar la productividad mediante el uso adecuado de tecnologías y consideraciones ecológicas (FAO, 2001).

Por otra parte, los efectos observados de las tendencias climáticas basados en la producción de cultivos son ya evidentes en varias regiones del mundo (Porter et al., 2014). En las regiones tropicales y de baja latitud, se prevén efectos negativos del cambio climático en la productividad de los cultivos de trigo, arroz y maíz, en igualdad de condiciones con las superficies agrícolas, los niveles de gestión y la tecnología actuales, incluso con bajos niveles de calentamiento (Lobell et al., 2011). Por ejemplo, el aumento de la frecuencia de noches inusualmente calurosas en la mayoría de las regiones del planeta tiene un efecto perjudicial para la mayoría de los cultivos, con impactos observados en el rendimiento y la calidad del arroz.

Los principales productores agrícolas de las zonas templadas, como la Unión Europea en el caso del trigo y los Estados Unidos en el del maíz, pueden sufrir los graves efectos negativos del cambio climático debido a la menor disponibilidad de agua durante el periodo vegetativo, la mayor frecuencia e intensidad de los episodios de calor, que son más perjudiciales durante la floración (Müller y Elliott, 2015), y la aceleración de la fenología, que puede reducir la producción de biomasa. Las proyecciones agroecológicas basadas en escenarios de cambio climático sugieren que el potencial de producción de grano en la Federación Rusa, Ucrania y Kazajistán podría aumentar debido a una combinación de incremento de la temperatura invernal, ampliación del periodo vegetativo y efecto

de la fertilización por CO₂ en los cultivos agrícolas; sin embargo, la zona semiárida más productiva podría sufrir un aumento drástico de la frecuencia de las sequías (Lioubimtseva y Henebry, 2012).

Un estudio sobre los posibles efectos del cambio climático en la agricultura de Noruega, señala que, a pesar de problemas como inviernos inestables, aumento de las precipitaciones en otoño y, posiblemente, más maleza y enfermedades, una prolongación de la actual estación de crecimiento corta, junto con temperaturas de crecimiento más altas, puede ofrecer nuevas oportunidades para la agricultura en la región, si bien requerirá estrategias de adaptación adaptadas, la obtención de nuevas variedades de plantas, cambios en el calendario de siembra y rotación de cultivos, etc. (Uleberg et al., 2014).

3.1.2 Efectos indirectos

El cambio climático también está favoreciendo cambios en la distribución y las propiedades de los polinizadores y otras especies que contribuyen de forma esencial a la producción a través de los servicios ecosistémicos que prestan (FAO, 2011). Aproximadamente, el 80 % de todas las especies de plantas con flores son polinizadas por animales, incluidos vertebrados y mamíferos, siendo los insectos los principales polinizadores. Polinizadores como las abejas, las aves y los murciélagos afectan al 35 % de la producción mundial de cultivos. Su presencia contribuye aumentando la producción de 87 de los principales cultivos alimentarios y plantas medicinales del mundo. Se calcula que la polinización tuvo un valor de 153 000 millones de euros en todo el mundo en 2005 (Gallai et al., 2009) y contribuye al rendimiento y la calidad de, al menos, el 70 % de los principales cultivos alimentarios del mundo, especialmente muchos cultivos de frutas y hortalizas importantes desde el punto de vista nutricional (Klein et al., 2003).

Por otra parte, el cambio climático es un factor determinante en la aparición de nuevas plagas siendo impulsor de los riesgos fitosanitarios emergentes (EFSA, 2024). Por ejemplo, el caracol manzana supone una amenaza para los humedales del sur de Europa, ya que los fenómenos meteorológicos extremos y las inundaciones (influidos por el cambio climático) aumentan la propagación natural de esta plaga a través de ríos y canales (EFSA, 2014) (CABI, 2021). También pueden llegar nuevas plagas debido al movimiento relacionado con el clima de organismos portadores de enfermedades (principalmente, insectos y aves), conocidos como vectores. Por ejemplo, una evaluación de 2023 examinó los riesgos que plantean los virus transmitidos a las plantas por la mosca blanca de la hoja plateada (Naveed et al., 2023).

El aumento de la incidencia y la gravedad de los brotes de enfermedades vegetales asociadas a plagas plantea riesgos significativos y crecientes para la productividad primaria, la suficiencia alimentaria mundial y la pérdida de biodiversidad en muchas zonas vulnerables del mundo. La pérdida anual de rendimiento de los cultivos provocada por patógenos (microorganismos que causan enfermedades y limitan la salud y la productividad del huésped) y plagas se estima en 220 000 millones de dólares, lo cual repercute directamente en la suficiencia alimentaria, las economías regionales y otros aspectos socioeconómicos relacionados (Kumar et al., 2022). Esto se ve agravado por las pérdidas post-cosecha causadas por microorganismos patógenos como *Penicillium* spp. y *Xanthomonas euvesicatoria*. Se estima que cualquier posible aumento de la producción en las próximas

5 décadas se verá contrarrestado por la alteración de la presión de las enfermedades provocadas por patógenos conocidos y emergentes.

Es probable que las especies vegetales o los cultivares, que no hayan coevolucionado con el patógeno introducido en la nueva ubicación geográfica, fomenten la prevalencia del patógeno y los brotes de la enfermedad. Un ejemplo del comercio y el transporte como impulsores de la aparición de patógenos, es la marchitez del plátano, también conocida como enfermedad de Panamá, causada por el hongo transmitido por el suelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, que, probablemente, se originó en el sudeste asiático y luego se propagó por todo el mundo durante el siglo XX (EFSA, 2022).

Por último, los cambios climáticos y ecológicos, y las prácticas modernas de gestión de la tierra, dominadas por los monocultivos y los cultivos de alta densidad, probablemente facilitaron la aparición y adaptación de patógenos de plantas capaces de diseminarse más allá de sus áreas geográficas normales. Por ejemplo, la soja y el trigo se cultivan extensivamente en monocultivos de alta densidad, y sus rendimientos se ven comprometidos por una plétora de plagas y patógenos. La roya de la soja, causada por el hongo *Phakopsora pachyrhizi*, y la mancha del trigo, causada por el hongo *Zymoseptoria tritici*, se encuentran entre las enfermedades más destructivas de estos cultivos, y se han documentado pérdidas de rendimiento de más del 50 % durante epidemias graves (Singh et al., 2023).

A pesar de la complejidad de los ecosistemas naturales, el cambio climático y la aparición y evolución de patógenos plantean retos similares para las comunidades de plantas silvestres y su productividad. Por ejemplo, la expansión del área de distribución de *Phytophthora cinnamomi* asociada al calentamiento global podría tener un impacto negativo significativo en las comunidades de plantas autóctonas de muchas partes del mundo. Un mayor aumento de la carga de la enfermedad como resultado del cambio climático podría tener consecuencias devastadoras para muchas especies de plantas, para la producción de alimentos y para la salud humana (Singh et al., 2023).

3.2 Salud animal

En relación con la salud animal, los efectos directos del cambio climático incluyen enfermedades y muertes relacionadas a las variaciones de temperatura. Los impactos indirectos, más complejos, incluyen la influencia del clima en la densidad y distribución de microorganismos, la propagación de enfermedades transmitidas por vectores, la escasez de alimentos y agua, así como el incremento de enfermedades de transmisión alimentaria.

Los animales homeotermos responden a las altas temperaturas aumentando la pérdida de calor y reduciendo su producción para evitar el incremento de la temperatura corporal (hipertermia). Este proceso implica el aumento de la frecuencia respiratoria y sudoración, así como la reducción de la ingesta de alimentos. Estos cambios fisiológicos contribuyen significativamente a la aparición de trastornos metabólicos en animales sometidos a estrés térmico. Concretamente, el ganado en entornos semiáridos cálidos suele criarse en sistemas extensivos, donde su potencial productivo se ve afectado por su exposición a factores climáticos extremos. Se prevé que el cambio climático aumente el estrés térmico en los animales, reduciendo su eficiencia alimentaria, las tasas de crecimiento y las tasas de reproducción, y por ende su producción y rentabilidad. Además del calor,

el ganado que pasta en zonas semiáridas cálidas se enfrenta a la variabilidad estacional en la cantidad y calidad del forraje y agua disponibles. Asimismo, los animales a menudo deben recorrer largas distancias en busca de estos recursos limitados durante los calurosos meses de verano. Por lo tanto, los animales de pastoreo están potencialmente expuestos a múltiples estresores: estrés térmico, escasez de forraje, y agua, y estrés físico por la movilidad en estos entornos (Sejian et al., 2013). En sistemas de pastoreo extensivo, estos estresores suelen ocurrir de manera simultánea en lugar de aislada, lo que hace esencial estudiar la influencia conjunta de estos factores en la capacidad adaptativa de diferentes especies en el contexto del cambio climático.

La conservación de las razas autóctonas es fundamental para afrontar las modificaciones en los sistemas extensivos causadas por el cambio climático, ya que proporcionan una rica base genética que puede ser adaptada a estos cambios. La presencia de especies ganaderas en contextos ecológicos específicos a lo largo del tiempo, sumada a factores históricos y sociales, ha generado en nuestro país a un amplio espectro de razas autóctonas especializadas en el aprovechamiento de los recursos pastorales. Estos animales, pertenecientes a más de 163 razas o variedades registradas en el Catálogo Oficial de Razas de España en peligro de extinción (MAPAMA, 2016), son los más adaptados a sus territorios y los más eficientes en la utilización de recursos naturales. A lo largo de los siglos, han permitido establecer rutinas ganaderas que optimizan este aprovechamiento (como el movimiento de los animales y la organización de ciclos productivos), modelando así los paisajes agrarios y culturales, y en muchos casos, terrenos de alto valor natural.

Estas razas autóctonas han evolucionado y perdurado gracias a su capacidad de adaptación a los distintos agrosistemas del país y a su aprovechamiento eficiente de sistemas pastorales específicos. Sin duda, muchas de ellas poseen las claves genéticas para la adaptación del sector ganadero a los cambios climáticos que España enfrentará en las próximas décadas, lo que hace imprescindible su conservación como medida de resiliencia. Profundizar en el estudio de sus características genéticas, fenotípicas y productivas, así como en su relación con las particularidades ecológicas de sus territorios, contribuiría tanto a su conservación como a su adaptación a los nuevos escenarios derivados del cambio climático. En conclusión, es fundamental preservar la biodiversidad en los entornos rurales y promover políticas de diversificación de especies para fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas.

Las aves, en particular, son el grupo animal para el cual contamos con más datos sobre el impacto del cambio climático. En las zonas templadas y boreales del hemisferio norte, se observa que la primavera está llegando antes, mientras que el otoño se retrasa. En aves migratorias, se ha documentado que general regresan antes a sus áreas de cría, aunque no hay un patrón claro para la migración otoñal (Lehikoinen et al., 2004). En Europa, se estima un adelanto de, aproximadamente, 2,8 días por década en las fechas de llegada primaveral desde los años 70 (Lehikoinen y Sparks, 2010).

Los mecanismos biológicos que subyacen a estos cambios en el comportamiento migratorio de las aves aún no se comprenden completamente (Knudsen et al., 2011). La llegada más temprana en primavera podría deberse a condiciones climáticas más favorables y una mayor disponibilidad de alimento en fechas tempranas, lo que facilitaría una migración más rápida a través de Europa y América del Norte. Este fenómeno podría ilustrar una adaptación mediante plasticidad fenotípi-

ca. Alternativamente, los cambios observados en el comportamiento migratorio también podrían reflejar procesos microevolutivos, donde el cambio climático favorece la selección de individuos más precoces. Hasta ahora, las alteraciones climáticas han sido moderadas, pero las predicciones indican cambios drásticos en las próximas décadas (Solomon et al., 2007). La capacidad de las aves para adaptarse a estas nuevas condiciones dependerá en gran medida de los mecanismos biológicos implicados en su adaptación (Gordo y Sanz, 2005, 2008).

Existen evidencias de que las modificaciones en las rutas y en los tiempos de migración de las aves debido al calentamiento global y los cambios estacionales afectan a la distribución de enfermedades infecciosas, y facilitan la aparición de nuevas enfermedades zoonóticas que pueden tener un impacto en humanos y en el ganado (Gilbert et al., 2008). A medida que sus patrones migratorios se ven modificados, aumenta la posibilidad de que ocurra una diseminación de patógenos (virus, bacterias, parásitos) portados por las aves, y que estos patógenos encuentren nuevos hábitats y vectores. Esto es especialmente importante en el caso de vectores como mosquitos y garrapatas, que pueden establecer ciclos de transmisión en nuevas áreas geográficas y representar una amenaza para la salud pública y animal (Ogden y Robbin, 2016). El virus del Nilo Occidental es un claro ejemplo de una enfermedad transmitida por mosquitos que ha expandido su alcance a través de la migración de aves, afectando tanto a humanos como a animales domésticos y silvestres (Chancey et al., 2015). Otro riesgo que se incrementa es el de transmisión de enfermedades zoonóticas, puesto que los cambios en las rutas migratorias aumentan la probabilidad de interacción entre las aves migratorias y otras especies, incluidos los animales de granja. Esto incrementa el riesgo de transmisión de patógenos zoonóticos como los virus de influenza aviar (H5N1, H7N9), que en algunas ocasiones pueden saltar de las aves a los humanos y causar brotes con importantes repercusiones en la salud pública y la industria ganadera (Kilpatrick et al., 2006). Las aves silvestres pueden, a su vez, transmitir el virus a las aves de corral, afectando la producción ganadera y generando pérdidas económicas considerables. Globalmente se observa, además, un impacto indirecto en la seguridad alimentaria, puesto que la introducción de enfermedades en el ganado puede reducir su productividad y generar costos adicionales en medidas de control sanitario, lo que tiene repercusiones en la disponibilidad y el precio de productos de origen animal, especialmente en áreas vulnerables (Jones et al., 2012). En conclusión, los cambios en los patrones migratorios de las aves representan un desafío para la salud pública y para la producción ganadera en el contexto del cambio climático. La implementación de sistemas de monitoreo y prevención en áreas de paso de aves migratorias y su proximidad a instalaciones ganaderas podría ser una medida esencial para anticipar y mitigar brotes zoonóticos relacionados con estos cambios. Las evidencias científicas subrayan la necesidad de integrar la vigilancia de enfermedades en los programas de monitoreo de vida silvestre, en un esfuerzo por comprender mejor y gestionar los riesgos emergentes (Altizer et al., 2013).

4. Pérdida de ecosistemas marinos y costeros, y de medios de subsistencia

Desde la perspectiva de la biodiversidad marina, los principales efectos del cambio climático son el calentamiento del mar, el aumento de la variabilidad climática que conduce a eventos extremos más frecuentes, y los cambios en el nivel del mar, el hielo marino, la estratificación térmica y la cir-

culación oceánica. Además, tanto el calentamiento como la circulación oceánica alterada influyen en la reducción de las concentraciones de oxígeno en las capas interiores. Las emisiones de CO_2 , que en gran parte impulsan el cambio climático antropogénico, también causan la acidificación del mar. Todos estos procesos pueden actuar sobre la biodiversidad de manera directa (por ejemplo, cuando la temperatura local excede las tolerancias fisiológicas de las especies individuales) o indirecta (por ejemplo, al alterar la disponibilidad de hábitats, las interacciones entre especies o la productividad). Pueden producirse interacciones potencialmente complejas entre el cambio climático y otros aspectos del cambio global, especialmente los debidos a la pesca, la eutrofización, la destrucción del hábitat y las enfermedades zoonóticas (Worm y Lotze, 2021).

El medio marino alberga una enorme biodiversidad, lo que lo convierte en el sustento de actividades económicas con una larga tradición, como la pesca. Esta actividad no solo juega un papel fundamental en la alimentación saludable, sino que también es el medio de vida de muchas comunidades. Garantizar una pesca sostenible es crucial para asegurar el futuro de la actividad pesquera. Se prevé que, a mediados del siglo XXI, la población mundial supere ampliamente los 9000 millones de personas, y la última edición del informe de la FAO ya refleja hasta qué punto la pesca es determinante para alcanzar la meta global de un mundo sin hambre ni malnutrición (Pérez, 2020). España ocupa el puesto mundial número 20 en la pesca de captura marina y es el cuarto país importador de productos acuáticos (FAO, 2022), por lo que cualquier cambio en la producción de pesca y acuicultura a nivel global puede afectar al consumo de productos marinos por parte de la población, incidiendo en su nutrición. En la actualidad, la mayor amenaza para la pesca es el cambio climático. Por este motivo, en los últimos años, se está mostrando un interés cada vez mayor en la adaptación de la pesca y la acuicultura al cambio climático.

Las zonas de pesca más importantes en España son el Atlántico Nordeste (subzona FAO 27), donde se captura principalmente bacalao, merluza, arenque y caballa, el Mediterráneo y Mar Negro (subzona FAO 37), donde las capturas más importantes son sardina, boquerón, sepia, gamba y langostino, y el Atlántico Centro-Oeste (subzona FAO 47), con calamar gigante, merluza y vieira como principales capturas.

Como consecuencia del cambio climático en el hemisferio norte, se ha reportado un desplazamiento hacia el norte de cefalópodos y de peces como sardinas, boquerones y caballas. Concretamente, en la subzona FAO 27, se ha detectado una mayor abundancia de lubina europea y algunas especies de calamares en el Mar del Norte, y un aumento del bacalao y de la caballa en el Mar de Noruega (Nottestad et al., 2015). Estos cambios en la abundancia y distribución de especies pueden afectar a las capturas pesqueras tanto en número como en tipo de especie no solo en esa zona, sino también en zonas pesqueras adyacentes.

En el caso concreto del Mediterráneo (subzona FAO 37), se ha confirmado un claro calentamiento y aumento de la salinidad de las aguas mediterráneas que rodean las costas españolas. Estas variaciones de la temperatura y salinidad se han evaluado desde 1945 hasta 2016. En el caso de las aguas intermedias y profundas, la temperatura ha aumentado a un ritmo de entre 0,2 y 0,3 °C/100 años y, en las aguas superficiales, la tendencia está en torno a un aumento de 2 °C/100 años. En cuanto a la salinidad, aumenta a un ritmo de entre 0,1 y 0,3 ups/100 años (Vargas et al., 2019). Otros

factores a tener en cuenta son, por un lado, la sequía, que puede provocar que los ríos aporten más o menos nutrientes al mar, y también más o menos caudal; y, por otro lado, las lluvias torrenciales, que repercuten en ríos que desembocan en el mar y pueden arrastrar muchos sedimentos que contienen nutrientes. Estos cambios que se están produciendo en el Mediterráneo inciden en las capturas pesqueras. Por ejemplo, se ha observado que unos años hay mucho boquerón y sardina y, otros años, hay pocos individuos de estas especies (Vargas et al., 2019). También se ha visto que especies termófilas como el pez limón o serviola (*Seriola dumerili*) han experimentado un incremento en su abundancia, así como un aumento en su distribución hacia el norte, y que especies de peces boreales como el chanquete (*Aphia minuta*) o el espadín (*Sprattus sprattus*) son cada vez más escasas. Este efecto, que se conoce como “meridionalización”, se ha hecho patente en las capturas de algunas especies comerciales (Benigno y Almodovar, 2010).

En cuanto a previsiones de futuro en los sistemas marinos, se prevé que los efectos del cambio climático variarán según la región, y que el calentamiento de los océanos obligará a las poblaciones de peces a migrar en dirección a los polos, por lo que cabe esperar la extinción de algunas especies locales en zonas más cálidas. Sin embargo, esto no implica necesariamente un aumento de la diversidad biológica de los mares polares, habida cuenta del rápido retroceso del hielo marino y del aumento de la acidificación de las aguas frías. En las zonas costeras, está previsto que la proliferación de los fenómenos meteorológicos extremos, el aumento del nivel del mar y el desarrollo costero intensifiquen la fragmentación y la pérdida de hábitats (IPBES, 2019). Todo esto puede incidir a largo plazo en las capturas pesqueras y en la disponibilidad de productos del mar para la alimentación de los consumidores.

5. Pérdida de ecosistemas terrestres y de aguas continentales

Los ecosistemas terrestres y acuáticos son muy vulnerables al cambio climático, y en la actualidad, se está acelerando la tasa de extinción de especies: más del 60 % de las especies silvestres del mundo se han extinguido en los últimos 50 años (Thomsen y Thomsen, 2021). Se prevé que la pérdida de biodiversidad se extienda a medida que aumente el calentamiento global, con mayor repercusión en el norte de Sudamérica, el sur de África, la mayor parte de Australia y en las altas latitudes del norte. Según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, el 16,2 % de las especies terrestres y de agua dulce que figuran como en peligro, en peligro crítico o extintas en la naturaleza incluyen el cambio climático o las condiciones meteorológicas extremas como una de sus amenazas (Parmesan et al., 2022).

El impacto del cambio climático en la biodiversidad incide en la distribución y fenología tanto de especies de plantas como de animales. En relación con las plantas, para muchas especies europeas se ha producido un desplazamiento hacia el norte y hacia altitudes mayores. Se prevé que para finales del siglo XXI la distribución se habrá desplazado varios cientos de kilómetros hacia el norte, con la consiguiente expansión de bosques en el norte y contracción en el sur, con un 60 % de las especies de plantas de montaña en peligro de extinción. La tasa de cambio supera la capacidad de adaptación, con lo cual la composición de muchas comunidades vegetales está cambiando. Así, en Europa Occidental y Central las especies de hoja ancha están reemplazando a las coníferas. Una

de las especies limitadas por el clima es el acebo (*Ilex aquifolium*), que se ha expandido en el sur de Escandinavia debido al aumento de las temperaturas invernales (Walther et al., 2005) (Feehan et al., 2009).

En cuanto a la distribución de las especies animales, casi la mitad (47 %) de los mamíferos terrestres en peligro de extinción, excluidos los murciélagos, y una cuarta parte (23 %) de las aves en peligro de extinción ya se han visto afectados negativamente por el cambio climático en, al menos, parte de su distribución (IPBES, 2019). En Europa, las aves, los insectos y los mamíferos se están desplazando hacia el norte y a mayores altitudes en respuesta al cambio climático. Sin embargo, muchas especies, incluidas las mariposas, no se desplazan tan rápidamente como cabría esperar con el ritmo actual de cambio climático (Warren et al., 2013), quizás debido, al menos en parte, a la fragmentación del hábitat.

Por otra parte, el calentamiento global ha provocado avances en los ciclos de vida de muchos grupos de animales, incluido el desove de las ranas, la anidación de las aves y la llegada de aves y mariposas migratorias. El avance estacional es particularmente fuerte y rápido en el Ártico. Las temporadas de reproducción se están alargando, lo que permite que durante el año se produzcan generaciones adicionales de insectos sensibles a la temperatura, como mariposas, libélulas y especies de plagas (Feehan et al., 2009).

La hibridación entre especies estrechamente relacionadas ha aumentado en las últimas décadas a medida que una especie cambia los límites de su área de distribución y se posiciona más cerca de la otra. Así, por ejemplo, en el norte de Canadá, se han documentado híbridos entre osos polares y osos pardos (Kelly et al., 2010), en tanto que, en los ríos de América del Norte, la hibridación entre la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) invasora y la trucha degollada (*Oncorhynchus clarkii*) nativa ha aumentado en frecuencia a medida que la trucha arcoíris se ha expandido a aguas más cálidas (Muhlfeld et al., 2014).

En Europa, el cambio climático ha provocado un desplazamiento de las zonas agroclimáticas hacia el norte y un inicio más temprano de la temporada de crecimiento (Ceglar et al., 2019). Desde 1990, se han producido reducciones en el rendimiento del trigo y la cebada, así como aumentos en el del maíz y la remolacha azucarera (Moore y Lobell, 2015). Asimismo, el calentamiento ha causado incrementos en el rendimiento de hortalizas frutales cultivadas, disminuciones en tubérculos, tomates y pepinos (Potopová et al., 2017) y una floración más temprana de los olivos (García-Mozo et al., 2015). También, la calidad del vino se ha visto afectada por el cambio climático (van Leeuwen y Darriet, 2016) (Bednar-Friedl et al., 2022).

Los hábitats de aguas frías y las especies obligadas asociadas son especialmente vulnerables a estos cambios, como, por ejemplo, los salmónidos (Santiago et al., 2016) (Merriam et al., 2017). Así, el tiempo medio de retorno del salmón del Atlántico a los ríos de Terranova y Labrador aumentó entre 12 y 21 días en las últimas décadas, asociado con condiciones generales más cálidas (Dempson et al., 2017). Por su parte, los lagos tropicales, que albergan miles de especies animales que no se encuentran en otros lugares y que sustentan importantes pesquerías, son propensos a la pérdida de oxígeno de aguas profundas debido al calentamiento, con consecuencias adversas para la productividad y la biodiversidad (Sterner et al., 2020) (Parmesan et al., 2022).

El aumento de las temperaturas del agua, la reducción de la cubierta de hielo y la disminución del oxígeno en aguas profundas provocan cambios en los ecosistemas de agua dulce consistentes con los cambios en los sistemas terrestres: desarrollo más temprano del fitoplancton y el zooplancton, y desove avanzado de los peces en primavera, así como extensión de la temporada de crecimiento (de Senerpont Domis et al., 2013) (Adrian et al., 2016). Los ectotérmicos, como los peces y los invertebrados, son particularmente susceptibles al estrés térmico y de oxígeno. En los lagos de Wisconsin (Estados Unidos), las temperaturas del agua anormalmente altas debido a veranos más cálidos provocaron una gran mortalidad de peces. Se prevé que estos fenómenos se dupliquen para el período 2041-2059 y se cuadripliquen para el período 2081-2099 en comparación con los niveles históricos (Till et al., 2019). Este aumento previsto de las mortandades puede facilitar que las especies de peces de aguas cálidas desplacen a las especies de aguas frías (Hansen et al., 2017).

España posee la mayor diversidad de sistemas acuáticos continentales de Europa, con floras y faunas singulares y muy específicas. En general, estos sistemas son de pequeño tamaño, están incluidos en cuencas hidrográficas muy grandes, a menudo dependen de las aguas subterráneas y experimentan intensas fluctuaciones hídricas, que afectan a su funcionamiento ecológico. Es muy probable que el cambio climático determine que parte de estos ecosistemas pasen de ser permanentes a estacionales, algunos incluso desaparezcan, y que la biodiversidad de muchos de ellos se reduzca (Alvarez Cobelas et al., 2005). Por ejemplo: en la vegetación de las riberas fluviales, se espera un aumento de los tarayes (*Tamarix*) frente a salicáceas (*Salix*) y chopos (*Populus*), y es probable que la adelfa (*Nerium oleander*) se expanda. En la vegetación emergente de los humedales, se pueden ver favorecidas las especies claramente anfibias frente a las genuinamente acuáticas; así, por ejemplo, *Phragmites* y *Scirpus* pueden acabar dominando sobre *Typha* o *Cladium* (Alvarez Cobelas et al., 2001).

Asimismo, para tolerar el estiaje pronunciado, los peces fluviales de mayor tamaño (barbos y bogas) desarrollan estrategias migratorias, ya sea remontando hasta encontrar aguas permanentes o bien descendiendo hasta la confluencia con los ríos principales. Los peces endémicos más peculiares son de pequeño tamaño (*Squalius alburnoides*, *Chondrostoma lemmingii*, *Iberocypris*) y su adaptación básica consiste en resistir el estío en pozas aisladas en condiciones de superpoblación (Carmona et al., 1999). Debido al aumento de la temperatura del agua, el hábitat de los salmónidos se reducirá y las poblaciones de truchas autóctonas se irán fraccionando al reducirse su hábitat (Alvarez Cobelas et al., 2005).

6. Los efectos del deterioro de los sistemas alimentarios

Entendiendo sistema alimentario como el conjunto de actividades involucradas en la producción, procesamiento, transporte, consumo y gestión de los residuos de los alimentos (MITECO, 2020), su relación con el cambio climático, la suficiencia alimentaria y la salud humana es dinámica y multi-sectorial (Schnitter y Berry, 2019).

La evidencia existente sugiere que el cambio climático puede causar perturbaciones en el suministro estable de recursos necesarios para operaciones de procesamiento y que eventos climáticos extremos pueden causar daños físicos al procesamiento e instalaciones (Ziska et al., 2016).

Asimismo, puede perturbar las redes de distribución de alimentos a través de crisis agudas como las condiciones climáticas extremas (Palko y Lemmen, 2017).

Por tanto, el cambio climático puede causar riesgos sobre el estado nutricional de la población debido a la reducción en la disponibilidad de alimentos, el acceso, la utilización y la estabilidad del sistema alimentario, lo cual, combinado con la alta demanda, incrementa el precio de los alimentos. Un sistema alimentario inestable, con escasa oferta de alimentos no procesados y precios elevados, aumenta la búsqueda de alimentos ultraprocesados y procesados, lo que saca a la luz otra vertiente de la inseguridad alimentaria y nutricional: el sobrepeso/la obesidad (Raiten y Aimone, 2017). Ello significa que el cambio climático influye directamente en la mala nutrición y la insuficiencia alimentaria y nutricional: desnutrición/déficit nutricional y sobrepeso/obesidad, reforzando la necesidad de políticas públicas intersectoriales que comprendan los factores determinantes que influyen en las elecciones alimentarias de la población y sus consecuencias en la mala nutrición, dando respuestas más allá del sector salud (de Moura Ariza et al., 2022).

Para hacer frente a los efectos negativos de los cambios climáticos es urgente una reestructuración del sistema alimentario y del perfil agrícola mundial, así como un cambio en el perfil alimentario y de consumo de la población.

7. Reducción del impacto del cambio climático en la suficiencia alimentaria

7.1 Cambios en los patrones climáticos

Las comunidades rurales dependen de las condiciones climáticas para la agricultura, la ganadería y otras actividades económicas. El cambio climático ha provocado variaciones en los patrones de lluvia, sequías más frecuentes y temperaturas extremas, afectando la disponibilidad de agua, la producción agrícola y la salud del ganado. Esto, a su vez, impacta en la suficiencia alimentaria y los medios de vida de las comunidades rurales.

Para adaptarse, es esencial que las comunidades diversifiquen sus fuentes de ingresos y adopten prácticas agrícolas sostenibles. Esto puede incluir la promoción de cultivos resistentes al clima, la implementación de técnicas de conservación del agua, la adopción de prácticas de gestión de suelos saludables y la exploración de opciones de ingresos no agrícolas, como el turismo rural o la producción de energía renovable (Erezi et al., 2023).

7.2 Riesgo de desastres naturales

Las comunidades rurales, a menudo, se encuentran en áreas propensas a desastres naturales, como inundaciones, sequías, incendios forestales y tormentas intensas. El cambio climático ha exacerbado estos riesgos, aumentando la frecuencia e intensidad de los eventos extremos.

Para adaptarse, estas comunidades deben fortalecer su capacidad de respuesta y preparación ante desastres. Esto implica desarrollar sistemas efectivos de alerta temprana, mejorar la infraestructura resistente al clima, promover prácticas de gestión del riesgo de desastres y capacitar a los residentes en medidas de suficiencia y evacuación. Además, la planificación del uso de la tierra y la conservación de los ecosistemas naturales pueden ayudar a reducir los riesgos. Por ejemplo, la reforestación de áreas vulnerables puede prevenir inundaciones y deslizamientos de tierra, mientras

que la conservación de humedales favorece que actúen como amortiguadores naturales contra las tormentas) (LI, 2014).

7.3 Escasez de recursos naturales

El cambio climático también puede agravar la escasez de recursos naturales en las comunidades rurales, como el agua y los alimentos. Las sequías y el aumento de las temperaturas pueden reducir la disponibilidad de agua para riego y consumo humano, afectando directamente la producción agrícola y la calidad de vida.

En respuesta, es esencial implementar medidas de conservación del agua, como la captación de agua de lluvia, la construcción de sistemas de riego eficientes y la gestión sostenible de los acuíferos locales. Promover la diversificación de cultivos y la introducción de variedades resistentes al clima también puede ayudar a garantizar la suficiencia alimentaria en entornos cambiantes (Nikolaou et al., 2020).

7.4 Pérdida de biodiversidad

El cambio climático contribuye a la pérdida de biodiversidad, afectando tanto los ecosistemas naturales como las actividades económicas de las comunidades rurales, como la pesca y el turismo. La pérdida de biodiversidad reduce la capacidad de un ecosistema para adaptarse a los cambios y, en último término, se traduce en efectos negativos directos sobre la humanidad.

Para adaptarse, es fundamental promover prácticas de conservación y gestión sostenible de los recursos naturales. Esto incluye establecer áreas protegidas, fomentar la pesca responsable, regular el turismo para minimizar el impacto ambiental y promover la educación ambiental para crear conciencia sobre la importancia de la conservación de la biodiversidad.

Conclusiones del Comité Científico

Existen evidencias de que el cambio climático afecta, a través de diferentes vías, al grado de acceso de la población a alimentos nutritivos y seguros a nivel mundial. Los principales riesgos son: la pérdida de biodiversidad en las zonas rurales; la pérdida de ecosistemas marinos y costeros, y de medios de subsistencia; la pérdida de ecosistemas terrestres y de aguas continentales, y de medios de subsistencia y, por último, el deterioro de los sistemas alimentarios.

En relación con la pérdida de biodiversidad en distintos ecosistemas (marinos y terrestres) debida al cambio climático, se ha observado un cambio en la distribución y fenología tanto de especies de plantas como de animales, produciéndose un desplazamiento hacia latitudes más frías (meridionalización) y hacia altitudes mayores de las diferentes especies. Se prevé que la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad, reducirán el rendimiento de los cultivos, así como el contenido en nutrientes de los alimentos.

En cuanto a las repercusiones del cambio climático sobre las fuentes de alimentos, está aumentando el riesgo de plagas conocidas, así como de las pérdidas post-cosecha. El incremento en las temperaturas no sólo afecta directamente a los animales, provocando alteraciones metabólicas e

inmunitarias, sino que también tiene consecuencias indirectas, dado que está incrementando la población de vectores transmisores de agentes infecciosos.

Por tanto, el cambio climático puede suponer un riesgo sobre el estado nutricional de la población debido a la reducción en la disponibilidad de alimentos, el acceso, la utilización y la estabilidad del sistema alimentario.

Como afirma la FAO, comprender la cascada de riesgos derivados del cambio climático, así como las vulnerabilidades a estos riesgos, es esencial para diseñar las formas de adaptación para reducir el impacto neto sobre la suficiencia alimentaria y la nutrición. Aumentar la resiliencia frente al cambio climático puede requerir múltiples intervenciones, desde la protección social a las prácticas agrícolas y la gestión de riesgos, en el marco de estrategias que deben basarse en evaluaciones de riesgos y vulnerabilidades, y que tengan en cuenta las diferentes dimensiones (social, económica y medioambiental).

Es esencial diseñar formas de adaptación para reducir el impacto neto sobre la suficiencia alimentaria y la nutrición y, de esta manera, aumentar la resiliencia frente al cambio climático. Esto supone un cambio de paradigma hacia una agricultura y unos sistemas alimentarios más resistentes, más productivos y sostenibles, con el objetivo de garantizar la suficiencia alimentaria a nivel mundial ante el cambio climático.

Referencias

- Adrian, R., Hessen, D.O., Blenckner, T., Hillebrand, H., Hilt, S., Jeppesen, E., Livingstone, D.M. y Trolle, D. (2016). Environmental Impacts-Lake Ecosystems. En libro: *North Sea Region Climate Change Assessment. Regional Climate Studies*. Quante, M. y Colijn, F. (Eds.), Springer, Cham, pp: 315-340.
- Altizer, S., Richard, S., Ostfeld, P., Johnson, T.J., Kutz, S. y Harvell, C.D. (2013). Climate Change and Infectious Diseases: From Evidence to a Predictive Framework. *Science*, 341 (6145), pp: 514-519.
- Alvarez Cobelas, M., Catalán, J. y García de Jalón, D. (2005). Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. En libro: *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Centro de Publicaciones. Secretaría Técnica. Ministerio del Medio Ambiente.
- Bednar-Friedl, B., Biesbroek, R., Schmidt, D.N., Alexander, P., Børsheim, K.Y., Carnicer, J., Georgopoulou, E., Haasnoot, M., Le Cozannet, G., Lionello, P., Lipka, O., Möllmann, C., Muccione, V., Mustonen, T., Piepenburg, D. y Whitmarsh, L. (2022). Europe. En libro: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A. y Rama, B. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp: 1817-1927.
- Benigno, E. y Almodóvar, A. (2010). El cambio climático modifica la fauna de peces del Mediterráneo. *Trofeo Pesca Mar*, 11, pp: 108-109.
- CABI (2021). Centre for Agricultural Bioscience International. The apple snail, *Pomacea canaliculata*: an evidence note on invasiveness and potential economic impacts for East Africa. Disponible en: <https://www.cabi.org/wp-content/uploads/Working-Paper-21.pdf> [acceso: 23-09-24].
- Carmona, J.A., Doadrio, I., Márquez, A.L., Real, R. y Vargas, J.M. (1999). Distribution patterns of indigenous fishes in the Tagus River basin, Spain. *Environmental Biology of Fishes*, 54, pp: 371-387.
- Ceglar, A., Zampieri, M., Toreti, A. y Dentener, F. (2019). Observed northward migration of agro-climate zones in Europe will further accelerate under climate change. *Earth's Future*, 7 (9), pp: 1088-1101.

- Chancey, C., Grinev, A., Volkova, E. y Rios, M. (2015). The Global Ecology and Epidemiology of West Nile Virus. *BioMed Research International*, 2015, pp: 1-20.
- COP28 (2023). UN Climate Conference. FAO spotlights agrifood systems' potential to address climate impacts and achieve 1.5 °C goal. Disponible en: <https://www.fao.org/newsroom/detail/cop28--fao-spotlights-agrifood-systems--potential-to-address-climate-impacts-and-achieve-1.5-c-goal/en> [acceso: 23-09-24].
- de Moura Ariza, T.A., Lopes, M.M., Cavalcante, D.D.B. y Machado, C.D.F. (2022). The impacts of climate change on Food and Nutritional Security: a literature review. *Ciência & Saúde Coletiva*, 27 (1), pp: 273-286.
- de Senerpont Domis, L.N., Elser, J.J., Gsell, A.S., Huszar, V.L.M., Ibelings, B.W., Jeppesen, E., Kosten, S., Mooij, W.M., Roland, F., Sommer, U., Van Donk, E., Winder, M. y Rling, M.L. (2013). Plankton dynamics under different climatic conditions in space and time. *Freshwater Biology*, 58, pp: 463-482.
- Dempson, B., Schwarz, C.J., Bradbury, I.R., Robertson, M.J., Veinott, G., Poole, R. y Colbourne, E. (2017). Influence of climate and abundance on migration timing of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) among rivers in Newfoundland and Labrador. *Ecology of Freshwater Fish*, 26 (2), pp: 247-259.
- EFSA (2014). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Apple snail poses a serious threat to south European wetlands. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/140430a> [acceso: 23-09-24].
- EFSA (2022). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Pest categorisation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4. *EFSA Journal*, 20 (1): 7092, pp: 1-32.
- EFSA (2024). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Climate change and food safety. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/climate-change-and-food-safety> [acceso: 23-09-24].
- Erezi, E., Ehi, O.E. y Ayodeji, O.T. (2023). Promoting Sustainable Agriculture and Climate Resilience in African Nations. *International Journal of Agriculture and Earth Science*, 9 (5), pp: 27-45.
- FAO (2001). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Farming Systems and Poverty. Improving farmers' livelihoods in a changing world. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ea3285fa-caff-4bd9-81aa-79c9331aa808/content> [acceso: 23-09-24].
- FAO (2006). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Food Security. Disponible en: https://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitaly/documents/pdf/pdf_Food_Security_Coept_Note.pdf [acceso: 23-09-24].
- FAO (2009). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Global agriculture towards 2050. Disponible en: https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf [acceso: 23-09-24].
- FAO (2011). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Potential effects of climate change on crop pollination. Kjøl, M., Nielsen, A. y Stenseth, N.C., Rome.
- FAO (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Climate change and food security: risks and responses. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a4fd8ac5-4582-4a66-91b0-55abf642a400/content> [acceso: 23-09-24].
- FAO (2021). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/items/efd29e45-4004-4ec0-baad-eb9ea69278eb> [acceso: 23-09-24].
- FAO (2022). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/items/92319005-6232-450f-8c75-4d4fcf24720d> [acceso: 23-09-24].
- Feehan, J., Harley, M. y van Minnen, J. (2009). Climate change in Europe. 1. Impact on terrestrial ecosystems and biodiversity. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, pp: 409-421.
- Frieler, K., Levermann, A., Elliott, J., Heinke, J., Arneth, A., Bierkens, M.F.P., Ciais, P., Clark, D.B., Deryng, D., Döll, P., Falloon, P., Fekete, B., Folberth, C., Friend, A.D., Gellhorn, C., Gosling, S.N., Haddeland, I., Khabarov, N., Lomas, M., Masaki, Y., Nishina, K., Neumann, K., Oki, T., Pavlick, R., Ruane, A.C., Schmid, E., Schmitz, C., Stacke,

- T., Stehfest, E., Tang, Q., Wisser, D., Huber, V., Piontek, F., Warszawski, L., Schewe, J., Lotze-Campen, H. y Schellnhuber, H.J. (2015). A framework for the cross-sectoral integration of multi-model impact projections: land use decisions under climate impacts uncertainties. *Earth System Dynamics*, 6 (2), pp: 447-460.
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J. y Vaissière, B.E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68, pp: 810-821.
- García-Mozo, H., Oteros, J. y Galán, C. (2015). Phenological changes in olive (*Olea europaea* L.) reproductive cycle in southern Spain due to climate change. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 22 (3), pp: 421-428.
- Gilbert, M., Slingenberg, J. y Xiao, X. (2008). Climate change and avian influenza. *Revue scientifique et technique*, 27 (2), pp: 459-466.
- Gordo, O. y Sanz, J.J. (2005). Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia*, 146, pp: 484-495.
- Gordo, O. y Sanz, J.J. (2008). The relative importance of conditions in wintering and passage areas on spring arrival dates: the case of long-distance Tberian migrants. *Journal of Ornithology*, 149, pp: 199-210.
- Hansen, G.J., Read, J.S., Hansen, J.F. y Winslow, L.A. (2017). Projected shifts in fish species dominance in Wisconsin lakes under climate change. *Global change biology*, 23 (4), pp: 1463-1476.
- IPBES (2019). Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Disponible en: https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_en.pdf [acceso: 23-09-24].
- IPCC (2019). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Special report on climate change and land. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-5/> [acceso: 23-09-24].
- IPCC (2022). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> [acceso: 23-09-24].
- Jones, A.B., Grace, D., Kock, R., Alonso, S., Rushton, J., Said, M.Y., McKeever, D., Mutua, F., Young, J., McDermott, J. y Pfeiffe, D.U. (2012). Zoonosis emergence linked to agricultural intensification and environmental change. *PNAS*, 110 (21), pp: 8399-8404.
- JRC (2016). Joint Research Centre. Food and nutrition security and role of smallholder farms: challenges and opportunities. JRC Conference and Workshop Reports, pp: 1-88.
- Kelly, B., Whiteley, A. y Tallmon, D. (2010). The Arctic melting pot. *Nature*, 468 (7326), pp: 891.
- Kilpatrick, A.M., Aleksei, A., Chmura, D.W., Gibbons, R.C., Fleischer, P.P.M. y Daszak, P. (2006). Predicting the global spread of H5N1 avian influenza. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (51), pp: 19368-19373.
- Klein, A., Dewenter, S.I. y Tscharnkte, T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society*, 270, pp: 955-961.
- Knudsen, E., Lindén, A., Both, C., Jonzén, N., Pulido, F., Saino, N., Sutherland, W.J., Bach, L.A., Coppack, T., Ergon, T., Gienapp, P., Gill, J.A., Gordo, O., Hedenström, A., Lehikoinen, E., Marra, P.P., Møller, A.P., Nilsson, A.L.K., Péron, G., Ranta, E., Rubolini, D., Sparks, T.H., Spina, F., Studds, C.E., Scether, S.A., Tryjanowski, P. y Stenseth, N.C. (2011). Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. *Biological Reviews*, 86, pp: 928-946.
- Kumar, L., Chhogyel, N., Gopalakrishnan, T., Hasan, M.K., Jayasinghe, S., Kariyawasam, C., Kogo, B. y Ratnayake, S. (2022). Climate change and future of agri-food production. En libro: *Future Foods*, pp: 49-79.
- Lehikoinen, E., Sparks, T.H. y Zalakevicius, M. (2004). Arrival and departure dates. *Advances in Ecological Research*, 35, pp: 1-31.
- Lehikoinen, E. y Sparks, T.H. (2010). Bird migration. En libro: *Effects of Climate Change on Birds*. Møller, A.P.,

- Fiedler, W. y Berthold, P. (Eds.). Oxford University Press, Oxford, pp: 89-112.
- LI (2014). Lincoln Institute. Land Lines. Disponible en: https://www.lincolnst.edu/app/uploads/legacy-files/pub-files/lange_wp18wl1.pdf [acceso: 23-09-24].
- Lioubimtseva, E. y Henebry, G.M. (2012). Grain production trends in Russia, Ukraine and Kazakhstan: New opportunities in an increasingly unstable world? *Frontiers of Earth Science*, 6, pp: 57-166.
- Lobell, D.B., Schlenker, W. y Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333 (6042), pp: 616-620.
- MAPAMA (2016). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Programa de estudios 2016. Informe de resultados. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/informederesultadosprogramadeestudios2016_tcm37-440495.pdf [acceso: 23-09-24].
- Merriam, E.R., Fernandez, R., Petty, J.T. y Zegre, N. (2017). Can brook trout survive climate change in large rivers? If it rains. *Science of The Total Environment*, 607-608, pp: 1225-1236.
- MITECO (2020). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Plan nacional de adaptación al cambio climático 2021-2030. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf [acceso: 23-09-24].
- Moore, F.C. y Lobell, D.B. (2015). The fingerprint of climate trends on European crop yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (9), pp: 2670-2675.
- Muhlfeld, C.C., Kovach, R.P., Jones, L.A., Al-Chokhachy, R., Boyer, M.C., Leary, R.F., Lowe, W.H., Luikart, G. y Allendorf, F.W. (2014). Invasive hybridization in a threatened species is accelerated by climate change. *Nature Climate Change*, 4 (7), pp: 620-624.
- Müller, C. y Elliott, J. (2015). The Global Gridded Crop Model intercomparison: approaches, insights and caveats for modelling climate change impacts on agriculture at the global scale. En libro: *Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade*. Elbehri, A. (Ed.), Rome, FAO.
- Naveed, H., Islam, W., Jafir, M., Andoh, V., Chen, L. y Chen, K. (2023). A Review of Interactions between Plants and Whitefly-Transmitted Begomoviruses. *Plants*, 12 (21): 3677, pp: 1-20.
- Naciones Unidas (1992). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf> [acceso: 23-09-24].
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E. y Nikolaos Katsoulas, N. (2020). Implementing Sustainable Irrigation in Water-Scarce Regions under the Impact of Climate Change. *Agronomy*, 10 (8): 1120, pp: 1-33.
- Nøttestad, L., Krafft, B.A., Anthonypillai, V., Bernasconi, M., Langård, L., Mørk, H.L. y Fernø, A. (2015). Recent changes in distribution and relative abundance of cetaceans in the Norwegian Sea and their relationship with potential prey. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2, pp: 83.
- Ogden, N. y Robbin, L. (2016). Effects of Climate and Climate Change on Vectors and Vector-Borne Diseases: Ticks Are Different. *Trends in Parasitology*, 32 (8), pp: 646-656.
- Palko, K. y Lemmen, D. (2017). Climate Risks and Adaptation Practices for the Canadian Transportation Sector. Government of Canada, Ottawa, Canada.
- Parmesan, C., Morecroft, M.D., Trisurat, Y., Adrian, R., Anshari, G.Z., Arneth, A., Gao, Q., Gonzalez, P., Harris, R., Price, J., Stevens, N. y Talukdar, G.H. (2022). Terrestrial and Freshwater Ecosystems and Their Services. En libro: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Portner, H.O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Minterbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Loschke, S., Moller, V., Okem, A. y Rama, B. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp: 197-377.
- Pérez, J.G. (2020). Una pesca sostenible y respetuosa con la biodiversidad marina. *Mediterráneo económico*, 33, pp: 319-336.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. y Travasso, M.I. (2014). Food security and food production systems. En libro: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulne-*

- ability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. y White, L.L. (Eds.). Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, pp: 485-533. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> [acceso: 23-09-24].
- Potopová, V., Zahradníček, P., Štěpánek, P., Türkott, L., Fardab, A. y Soukup, J. (2017). The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic from 1961 to 2014. *International Journal of Climatology*, 37 (3), pp: 1648-1664.
- Reino Unido (2022). Impact of climate change and biodiversity loss on food. Security. Disponible en: <https://lords-library.parliament.uk/impact-of-climate-change-and-biodiversity-loss-on-food-security/> [acceso: 23-09-24].
- Santiago, J.M., García de Jalón, D., Alonso, C., Solana, J., Ribalaygua, J., Pórtoles, J. y Monjo, R. (2016). Brown trout thermal niche and climate change: expected changes in the distribution of cold-water fish in central Spain. *Ecohydrology*, 9 (3), pp: 514-528.
- Schnitter, R. y Berry, P. (2019). The Climate Change, Food Security and Human Health Nexus in Canada: A Framework to Protect Population Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (14): 2531, pp: 1-16.
- Sejjan, V., Maurya, V.P., Kumar, K. y Naqvi, S.M.K. (2013). Effect of multiple stresses (thermal, nutritional and walking stress) on growth, physiological response, blood biochemical and endocrine responses in Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*, 45, pp: 107-116.
- Singh, B.K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J.E., Liu, H. y Trivedi, P. (2023). Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature reviews microbiology*, 21, pp: 640-656.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B. y Miller, H.L. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- Sterner, R.W., Keeler, B., Polasky, S., Poudel, R., Rhudea, K. y Rogers, M. (2020). Ecosystem services of Earth's largest freshwater lakes. *Ecosystem Services*, 41: 101046.
- Thomsen, B. y Thomsen, J. (2021). Multispecies livelihoods: Partnering for sustainable development and biodiversity conservation. En libro: *Partnerships for the goals. Encyclopedia of the UN sustainable development goals*. Filho, L.W., Azul, A.M., Brandli, L., Salvia, L.A. y Wall, T. (Eds). Springer, Cham, pp: 758-768.
- Till, A., Rypel, A.L., Bray, A. y Fey, S.B. (2019). Fish die-offs are concurrent with thermal extremes in north temperate lakes. *Nature Climate Change*, 9 (8), pp: 637-641.
- Uleberg, E., Hanssen-Bauer, I., van Oort, B. y Dalmannsdottir, S. (2014). Impact of climate change on agriculture in Northern Norway and potential strategies for adaptation. *Climatic Change*, 122, pp: 27-39.
- Vargas-Yáñez, M., García-Martínez, M.D.C., Moya-Ruiz, F., López-Jurado, J.L., Serra-Tur, M., Balbín, R., ... y Parri-Ila-Barrera, G. (2019). El estado actual de los ecosistemas marinos en el Mediterráneo español en un contexto de cambio climático. Instituto Español de Oceanografía.
- van Leeuwen, C. y Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, 11 (1), pp: 150-167.
- Walther, G.R., Beissner, S. y Burga, C.A. (2005). Trends in the uphill shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science*, 16, pp: 541-548.
- Warren, R., VanDerWal, J., Price, J., Welbergen, J.A., Atkinson, I., Ramirez-Villegas, J., Osborn, T.J., Jarvis, A., Shoo, L.P., Williams, S.E. y Lowe, J.J. (2013). Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change*, 3, pp: 678-682.
- Worm, B. y Lotze, H.K. (2021). Marine biodiversity and climate change. En libro: *Climate change*. Elsevier, pp: 445-464.
- Zinsstag, J., Crump, L., Schelling, E., Hattendorf, J., Maidane, Y.O., Ali, K.O., Muhummed, A., Umer, A.A., Aliyi, F.,

Nooh, F., Abdikadir, M.I., Ali, S.M., Hartinger, S., Mäusezahl, D., de White, M.B.G., Cordon-Rosales, C., Castillo, D.A., McCracken, J., Abakar, F., Cercamondi, C., Emmenegger, S., Maier, E., Karanja, S., Bolon, I., de Castañeda, R.R., Bonfoh, B., Tschopp, R., Probst-Hensch, N. y Cissé, G. (2023). Climate change and One Health. *FEMS Microbiology Letters*, 365 (11), pp: 1-8.

Ziska, L., Crimmins, A., Auclair, A., DeGrasse, S., Garofalo, J.F., Khan, A.S., Loladze, I., Perez de Leon, A.A., Showler, A., Thurston, J., et al. (2016). Food safety, nutrition, and distribution. En libro: *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. U.S. Global Change Research Program: Washington, DC, USA, pp: 1-189.