

La seguridad e inocuidad alimentarias frente al cambio climático: Adaptación y mitigación

A segurança e inocuidade alimentares face às mudanças climáticas: Adaptação e mitigação

Food Security and Safety in the Face of Climate Change: Adaptation and Mitigation

Isidro J. Mirón

Distrito de Salud Pública. Consejería de Sanidad de Castilla La Mancha. Centro de Especialidades, Diagnóstico y Tratamiento del SESCAM. Av. de la Estación 102, 45500-Torrijos, Toledo, España.

Cita: Mirón IJ. La seguridad e inocuidad alimentarias frente al cambio climático. Adaptación y mitigación. Rev. Salud ambient. 2023; 23(1):77-88.

Recibido: 7 de febrero de 2023. **Aceptado:** 26 de febrero de 2023. **Publicado:** 15 de junio de 2023.

Autor para correspondencia: Isidro J. Mirón Pérez

Correo e: ijmiron@jccm.es

Distrito de Salud Pública. Consejería de Sanidad de Castilla La Mancha. Centro de Especialidades, Diagnóstico y Tratamiento del SESCAM. Av. de la Estación 102, 45500-Torrijos, Toledo, España.

Financiación: No se ha contado con ningún tipo de financiación para el desarrollo de este trabajo.

Declaración de conflicto de intereses: El autor declara que no existen conflictos de intereses en la realización del estudio.

Declaraciones de autoría: El autor es responsable del diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, el autor está de acuerdo con la versión final.

Resumen

El cambio climático está influyendo en sentido negativo en los rendimientos de los cultivos y en otros sectores productores de alimentos, comprometiendo la seguridad alimentaria a nivel global. Sin embargo, revisando la bibliografía científica se encuentran propuestas adaptativas que pueden paliar esos efectos siempre que vayan acompañadas de medidas de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Entre las medidas de adaptación y mitigación se encontrarían la utilización de variedades de cultivos adaptadas, gestión eficiente del agua; el uso de herramientas de la agricultura de conservación y de precisión; fomento de la agricultura ecológica, reutilización de estiércoles; protección de la ganadería extensiva y de las razas autóctonas; investigación y mejoras en alimentación y bienestar animal; control y vigilancia de enfermedades, especialmente las de carácter zoonótico y mayor riesgo para la salud pública, dentro del enfoque "One Health" (Una sola salud); planificación de políticas pesqueras con el objetivo de reestablecer y mantener el equilibrio entre los recursos disponibles y las actividades pesqueras; y el fomento de una acuicultura sostenible como opción para paliar los efectos de una reducción de las capturas de la pesca extractiva y abastecer al mercado.

Entre las opciones de adaptación y mitigación se encuentran las fuentes alternativas de alimentación, como los insectos, y la reducción del desperdicio alimentario. La mejora de los sistemas de alerta, vigilancia y de información sanitaria y de control oficial de alimentos son medidas esenciales para hacer frente a los potenciales riesgos sobre la inocuidad alimentaria asociados al cambio climático.

Palabras clave: cambio climático; seguridad alimentaria; inocuidad alimentaria; adaptación; mitigación; salud pública.

Resumo

As alterações climáticas estão a influenciar negativamente o rendimento das culturas e doutros setores produtores de alimentos, comprometendo a segurança alimentar ao nível global. No entanto, revendo a literatura científica encontram-se propostas de adaptação que podem amenizar esses efeitos desde que acompanhadas de medidas de mitigação das emissões de gases de efeito de estufa.

Entre as medidas de adaptação e mitigação estariam o uso de variedades de culturas adaptadas, gestão eficiente da água; o uso de ferramentas de agricultura conservação e de precisão; promoção da agricultura ecológica, reaproveitamento de estrume; proteção da pecuária extensiva e das raças autóctones; investigação e aperfeiçoamentos na alimentação e no bem-estar animal; controlo e vigilância de doenças, especialmente as de carácter zoonótico e de maior risco à saúde pública, dentro do enfoque “One Health”; planeamento da política pesqueira com o objetivo de restabelecer e manter o equilíbrio entre os recursos disponíveis e as atividades pesqueiras; e a promoção da aquicultura sustentável como opção para atenuar os efeitos da redução das capturas da pesca extrativa e abastecer o mercado.

As opções de adaptação e mitigação incluem fontes alternativas de alimentos, como insetos e redução do desperdício de alimentos. A melhoria dos sistemas de alerta, vigilância, informação sanitária e controlo alimentar oficial são medidas essenciais para enfrentar os potenciais riscos de segurança alimentar associados às alterações climáticas.

Palavras-chave: alterações climáticas; segurança alimentar; inocuidade alimentar; adaptação; mitigação; saúde pública.

Abstract

Climate change is negatively affecting crop yields and food-producing industries other than the farming industry, thus compromising global food security. However, a review of the scientific literature reveals that adaptive proposals have been made that might lessen these effects provided they are accompanied by measures for mitigating greenhouse gas emissions.

Adaptation and mitigation measures would include the use of adapted crop varieties; efficient water management; the use of precision conservation farming tools; the promotion of organic farming; the reuse of manure; the protection of extensive livestock farming and native breeds; research into and improvements in animal feed and welfare; the control and monitoring of diseases, especially those zoonotic diseases that pose the greatest risk to public health within the “One Health” approach; the devising of fisheries policies with the aim of reestablishing and maintaining the balance between available resources and fishing activities; and the promotion of sustainable aquaculture as an option for lessening the effects of a decrease in catches from extractive fishing and supplying the market.

Adaptation and mitigation options include alternative food sources, such as insects, and food waste reduction. Enhanced health warning, monitoring and information systems and official food control systems are essential to tackle the potential food safety risks associated with climate change.

Keywords: climate change; food security; food safety; adaptation; mitigation; public health.

INTRODUCCIÓN

En el sexto informe (AR6) del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC)¹ se contemplan varios escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Así, las proyecciones sobre concentración de CO₂ para el año 2100 en un escenario de bajas emisiones (Representative Concentration Pathways, RCP 2.6) es de 446 ppm (partes por millón o mg/Kg), mientras que en el más desfavorable (RCP 8.5), sin la adopción de medidas de mitigación de emisiones, es de más de 1 000 ppm. Como consecuencia del aumento de la concentración en la atmósfera de GEI, entre los que el CO₂ es el más importante, la temperatura media global ha aumentado 1,09 °C en el promedio del periodo 2011-2020 respecto del periodo 1850-1900, y ese incremento sería de 1,8 °C según las proyecciones calculadas para el año 2100 en un escenario de bajas emisiones (RCP 2.6), y de 4,4 °C en el escenario de emisiones más desfavorable (RCP 8.5). Este mismo informe indica que la media anual de 2019 ya era de 410 ppm, un 147 % por encima de su concentración en la era preindustrial, estimada en 278 ppm.

Este calentamiento global está teniendo consecuencias sobre diversos sistemas que el IPCC

analiza en sus informes (ecosistemas terrestres, océanos, sistemas costeros, agua, ciudades e infraestructuras, salud y bienestar...), los últimos publicados durante el año 2022. Los impactos previstos dependen de los escenarios arriba citados, que son función de las medidas de mitigación y de adaptación al cambio climático que se adopten. Entre los sistemas que se analizan se encuentra el alimentario, como es lógico, al ser altamente sensible a los factores ambientales que influyen en la producción primaria (agricultura, ganadería y pesca).

Teóricamente, el incremento de la concentración de CO₂ y de la temperatura media produciría un aumento en el rendimiento de los cultivos ya que ambos son factores que favorecerían el crecimiento vegetal, lo que redundaría en una mayor disponibilidad de alimentos para la creciente población humana y para la alimentación de animales de producción. Sin embargo, no está siendo así, puesto que otros efectos producidos por el cambio climático, como el incremento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos (olas de calor, lluvias torrenciales, periodos de sequía extrema, etc.), están influyendo en sentido negativo en los rendimientos de los cultivos y en otros sectores productores de alimentos. Del mismo modo, un aumento

en la temperatura media global podría corresponderse con un aumento en las enfermedades transmitidas por alimentos, ya que podría ampliar el ciclo estacional (verano) en el que actualmente se concentra el mayor número de casos de estas enfermedades en humanos, y la mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos, como las inundaciones, podrían aumentar el riesgo en instalaciones de producción de alimentos por el arrastre de contaminantes hacia esas explotaciones. Existe bibliografía que acredita un amplio consenso científico sobre los efectos del cambio climático en la seguridad alimentaria².

Según el Informe Nacional del Inventario 1990-2020 de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de España³, el sector agrícola produjo en 2020 el 14 % de las emisiones de GEI. Hay que precisar que en años anteriores el porcentaje apenas había superado el 12 %, pero en el año 2020 la incidencia de la pandemia de COVID-19 en otros sectores, con una significativa reducción de la actividad, pero sin afectar al sector agropecuario, ha hecho elevar este índice a casi el 14 % de manera probablemente excepcional. El IPCC estima en torno al 30 % (21-37 %) las emisiones de GEI del sistema alimentario (incluyendo la industria alimentaria y el transporte) respecto al total de emisiones a nivel mundial⁴. Por tanto, teniendo en cuenta el peso de este sector en las emisiones, la implementación de las necesarias medidas adaptativas ante los impactos previstos sobre el sector alimentario debe ir acompañada de medidas de mitigación de las emisiones.

Así pues, tanto la seguridad en la provisión de alimentos como su inocuidad pueden verse muy influenciadas por el cambio climático, por lo que en este artículo se tratará de revisar el estado de conocimiento actual sobre el tema, enfocado hacia las diversas propuestas de medidas de adaptación y mitigación que los expertos y organizaciones internacionales plantean ante este reto respecto a la agricultura, la ganadería, la pesca y otras fuentes de alimentación, así como en relación con la inocuidad alimentaria.

1. AGRICULTURA

Hay numerosos estudios que evidencian la gran sensibilidad de los cultivos a las variaciones del clima. Aunque se ha observado de forma experimental que la elevación de la concentración de CO₂ aumenta el rendimiento de forma significativa en la producción de varios cultivos, como el arroz⁵ (algunos autores se refieren al efecto "fertilizante" de este gas), lo cierto es que las proyecciones globales indican una clara tendencia hacia la disminución de los rendimientos de los cultivos (con variaciones regionales o locales). Así mismo, se advierte mayor variabilidad en esos rendimientos y, por

tanto, más incertidumbre en la provisión de alimentos de origen vegetal. La elevación de la temperatura y el aumento de la variabilidad en las precipitaciones, con mayor frecuencia de episodios extremos (sequías, lluvias torrenciales, temperaturas extremas) producen efectos más desfavorables en las plantas que el beneficio que pueda aportar el aumento en la concentración de CO₂. Por ejemplo, se ha relacionado el aumento de la temperatura con la floración y maduración prematuras⁶⁻⁸, aceleración de la senescencia en cereales⁹, con menor producción de grano, etc., siendo la falta de agua (periodos de sequía) la mayor causante de inseguridad alimentaria a nivel global¹⁰.

Se ha descrito también la extensión geográfica de enfermedades vegetales y plagas hacia latitudes más altas¹¹. Las llamadas malas hierbas tienen la capacidad de ocasionar mayores pérdidas de rendimiento en los cultivos que las causadas por plagas de insectos o patógenos¹² y, puesto que tienen mayor diversidad genética que los cultivos, es previsible que su velocidad de adaptación al cambio climático sea más rápida que la de los cultivos a los que acompañan. El consiguiente mayor uso de plaguicidas, junto con las alteraciones climáticas, puede estar provocando como efecto la disminución de las poblaciones de insectos polinizadores, afectando negativamente a los rendimientos de los cultivos¹³.

En el sexto informe del IPCC¹⁴ se estima que en un escenario sin adaptación (RCP 8.5) habrá a lo largo del presente siglo un 2,3 % de descenso en el rendimiento del cultivo del maíz por década, el 3,3 % para la soja, 0,7 % para el arroz y un 1,3 % en el trigo, si bien las diferencias regionales indican que el rendimiento aumentaría en regiones más frías, con temperatura media <10 °C, disminuyendo en el resto según los escenarios considerados. Según indican la mayoría de los estudios realizados en todos los continentes, esa disminución de los rendimientos ya se está produciendo¹⁵, especialmente en países situados en regiones tropicales o templadas. Todo ello en un contexto de crecimiento de la demanda de alimentos a nivel global estimado en un 14 % por década¹⁶.

Se ha observado que el cambio climático está produciendo efectos adversos sobre calidad de los alimentos. Esto es realmente preocupante ya que podría afectar la salud humana y del ganado debido a la alteración de la calidad nutricional y/o afectar su valor económico mediante la alteración de rasgos valiosos para fabricantes de productos alimenticios o para los consumidores. Por ejemplo, se ha detectado que la elevación de los niveles de CO₂ está asociada con una menor concentración de proteína en las gramíneas (como los cereales)¹⁷ y con un descenso en la cantidad de calcio, azufre, magnesio, hierro y otros oligoelementos en el grano y partes verdes del trigo¹⁸.

1.1. Adaptación y mitigación en la agricultura

Los impactos que se están percibiendo, y los que se prevén, atribuibles al cambio climático, junto con problemas medioambientales generales y la pérdida de biodiversidad, han hecho aumentar la sensibilidad social y política hacia estas cuestiones en nuestro ámbito geográfico por lo que hace años que se han incluido en las políticas europeas —como la Política Agrícola Común (PAC)— medidas agroambientales encaminadas a reducir el impacto de la actividad agrícola sobre el medio ambiente. La modulación de las ayudas a los agricultores en función de parámetros ambientalistas (buenas prácticas agrícolas, agricultura ecológica) existen desde hace casi tres décadas. Probablemente no haya sido suficiente, por lo que las sucesivas reformas de la PAC han elevado sus objetivos y exigencias medioambientales. Así, muchas de las medidas adaptativas que los expertos proponen están integradas en estas políticas, aunque quizás no con la intensidad que desde los sectores más conservacionistas se exige.

Los expertos participantes en los estudios del IPCC han indicado diversas opciones adaptativas al cambio climático¹⁴, concluyendo que existe margen y herramientas para la adaptación siempre y cuando vayan acompañada de medidas de mitigación de emisiones. Señalan que, de manera concomitante, las opciones propuestas tienen un significativo potencial adaptativo con un alto nivel de confianza. Entre ellas, se mencionan la modificación de variedades de cultivos, especies de cultivo y fechas de siembra^{19,20} más adaptadas a las temperaturas extremas o a las sequías²¹, selección acompañada de mejoras en la conservación y acceso a sus semillas y de la mejora de las infraestructuras y técnicas de irrigación y almacenamiento de agua. Sería apropiado citar aquí el trabajo que realizan investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), basado en que la modificación de los receptores de esteroides vegetales en plantas podría mejorar la resistencia a la sequía²². También cabe mencionar el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR)²³, una herramienta implementada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación que aglutina los datos de una extensa red de estaciones agroclimáticas para el cálculo de las necesidades hídricas en cultivos de regadío, permitiendo una mayor optimización en el uso de los recursos hídricos destinados a ese fin.

La implementación y generalización de las buenas prácticas agrícolas es un factor fundamental para la adaptación y mitigación frente al cambio climático. En este sentido, se ha descrito ampliamente en la literatura científica que la diversificación y rotación de cultivos reducen la sensibilidad a la variabilidad de las precipitaciones y a la sequía^{24,25}. Por otra parte, el empleo de tratamientos biocidas localizados, utilizando las

herramientas de agricultura de precisión, puede reducir substancialmente el uso de estos productos químicos²⁶.

Puesto que el uso de maquinaria agrícola es uno de los principales causantes de las emisiones de GEI dentro de la agricultura, sobre todo el laboreo del terreno, así como el uso de fertilizantes²⁷, las medidas adaptativas y de mitigación deben ir encaminadas a reducir el impacto de estas actividades. En este sentido, la agricultura ecológica aparece como una alternativa plausible para mitigar el cambio climático. Incluso se ha descrito el no laboreo como el mejor sistema de cultivo para incrementar la captura de CO₂ en el suelo en un clima mediterráneo²⁸. Sin embargo, según diversos autores^{29,30} los sistemas de bajos rendimientos necesitarían utilizar más tierra cultivable para alcanzar las mismas producciones, reduciendo el espacio disponible para los hábitats naturales, lo que podría redundar en un aumento en las emisiones de GEI y en una mayor erosión del suelo. En todo caso, actualmente existe un mayor consenso hacia prácticas menos agresivas o más conservacionistas²⁷, reforzadas en la llamada “nueva arquitectura verde” de la PAC, incluida en la reforma que ha entrado en vigor en 2023, basada en la condicionalidad reforzada y plasmada en el Plan Estratégico Nacional de la PAC del Reino de España 2023-2027³¹.

2. GANADERÍA

La disminución de rendimientos en la producción vegetal a que se ha hecho anterior referencia traería como consecuencia una menor disponibilidad de forrajes y mayores precios, aumentando los costes de producción en la ganadería. Y, aunque en zonas frías el aumento de la temperatura media podría inducir una extensión del periodo de crecimiento de forrajes, estos serían de peor calidad y con una producción más incierta debido a la mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos³².

Por otra parte, es sabido que los animales genéticamente seleccionados, muy utilizados en producción animal, son más sensibles a los cambios ambientales³³. Por ejemplo, se relaciona el estrés térmico con un descenso en la cantidad y calidad de la leche producida³⁴, menor índice de crecimiento de los animales, afectando a la producción de carne³⁵, alteraciones reproductivas y aumento de la mortalidad por calor³⁶.

Una consecuencia ya evidente del aumento de la temperatura media es la transmisión de enfermedades por vectores, que se han extendido hacia latitudes más altas, al tiempo que ha aumentado su periodo estacional. Muchas de ellas son zoonosis que amenazan la salud pública (fiebre de Crimea-Congo, fiebre del Nilo Occidental, coxielosis, borreliosis o enfermedad de Lyme, etc.)^{37,38}. Otras enfermedades no zoonóticas también

transmitidas por vectores, como la llamada lengua azul o fiebre catarral ovina, antes exótica y desde hace más de 20 años presente en España (y en países más septentrionales), producen grandes pérdidas económicas en el sector ganadero.

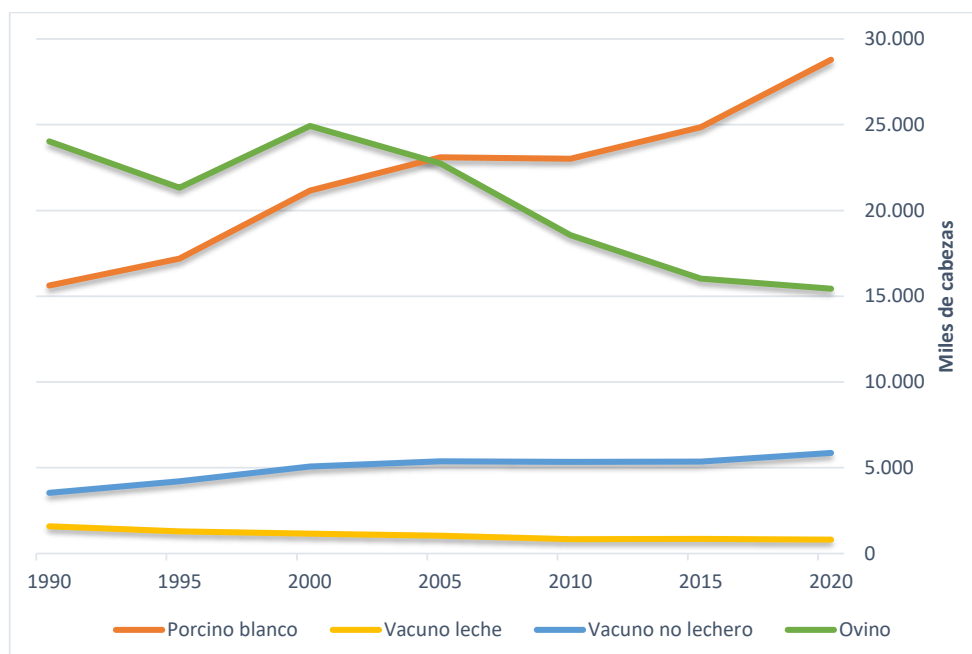
2.1. Adaptación y mitigación en ganadería

La mayor parte de las emisiones de GEI del sector ganadero son debidas al metano (CH_4), generado en los procesos de fermentación entérica del sistema digestivo de ciertas especies animales, sobre todo los rumiantes. En el año 2020, el CH_4 supuso en España el 41,5 % de las emisiones del sector agrario³ (expresado en términos de cantidades de CO_2 -eq), y el 5,8 % del total de emisiones. La cantidad de CH_4 emitida por los animales depende básicamente de la especie (su fisiología digestiva), censo existente y de su dieta.

Desde 1990 hasta 2020 (figura 1) el censo de vacuno lechero se ha reducido a la mitad, mientras que el de vacuno no lechero se ha incrementado un 65 %. Este último aporta más de la mitad de las emisiones de CH_4

por fermentación entérica. El ovino, tradicionalmente asociado a la ganadería extensiva de la España cerealística, territorio coincidente en gran parte con la hoy llamada "España vaciada", ha visto reducida su cabaña un 36 % en esos 30 años. Precisamente el fomento de la ganadería extensiva y de las razas autóctonas, más adaptadas y resistentes a las condiciones ambientales, con beneficios asociados en cuanto a aprovechamiento de recursos marginales (rastrojeras, eriales, mantenimiento de ecosistemas de dehesas, aprovechamiento de masa vegetal combustible en zonas forestales y de monte bajo, etc.), es una de las medidas adaptativas que se proponen desde las instituciones europeas y nacionales. Al mismo tiempo, su modo de explotación lleva consigo una limitación de la carga ganadera por hectárea de terreno haciendo de ella una actividad más sostenible desde el punto de vista medioambiental. Por estos motivos este sistema tradicional está integrado en los sistemas de ayudas de la PAC desde años atrás, fomentándose su modernización y adaptación a las nuevas tecnologías. Llama la atención, siguiendo con la evolución de los censos ganaderos, el notable incremento del cerdo blanco, que casi ha doblado su población hasta alcanzar casi 29 millones de cabezas en 2020, sobre todo en

Figura 1. Evolución del censo de ganado porcino blanco, vacuno y ovino de 1990 a 2020. Fuente: Informe de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero³ y Estadísticas Agrarias del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación



grandes explotaciones (grupo 3)³⁹, pasando España a ser el mayor productor europeo y el tercero a nivel mundial. Comparada con la de otras especies, la contribución del cerdo blanco a las emisiones de metano es limitada, pero no despreciable, debido a su censo. Hay que tener en cuenta la enorme producción de purines

(estiércoles líquidos) que genera y que hay que gestionar adecuadamente, ya que su producción intensiva y en poco espacio genera una gran cantidad de residuos. Esta problemática es extensible a otras producciones, como la de vacuno de carne intensivo (cebaderos), con censo también al alza en esos años. De ahí que, en el sector

porcino primero, y en el vacuno recientemente⁴⁰, exista normativa de ordenación de explotaciones limitando su tamaño, distancias, etc.

Hay que tener en cuenta que las emisiones de GEI por la gestión de estiércoles, lo son fundamentalmente de CH₄ y N₂O (óxido nitroso), y suponen el 23,15 % de las emisiones del sector agrario, por lo que el incremento de estas producciones no resulta inocuo en su contribución al cambio climático. El aumento del censo de porcino blanco y del vacuno no lechero no ha tenido su equivalente en el consumo de esas carnes en España. Por tanto, la mayor producción, sobre todo en el sector porcino, es atribuible al incremento de las exportaciones. No obstante, hay que puntualizar que una parte importante de los purines son reutilizados como fertilizantes, reduciendo así de forma significativa la fabricación y utilización de fertilizantes de síntesis química. Esto obliga a una gestión racional y dosificada de esos estiércoles, contemplada en la normativa, para evitar un exceso de aporte de nitrógeno al suelo, todo ello de difícil o insuficiente control por parte de las autoridades competentes, generando cada vez más reticencias y conflictos en su entorno social.

El factor de emisión de GEI por metanogénesis entérica es fuertemente dependiente de la alimentación. Y esta ha evolucionado favorablemente en los sectores ganaderos más competitivos y tecnificados, en régimen intensivo, en los que las dietas se ajustan al máximo para reducir la ingesta. Por ejemplo, en el porcino blanco se han sustituido ingredientes ricos en fibra y de baja digestibilidad por cereales, variedades de soja con proteína de mayor calidad, incorporación de aminoácidos sintéticos y enzimas digestivas, etc., cuyo resultado ha sido el aumento de la digestibilidad de la dieta. En rumiantes no se ha dado esta evolución hasta ahora, aunque en el vacuno lechero el incremento del rendimiento de la producción sí ha proporcionado una disminución del 43 % en el metano emitido por Kg de leche producida en estos 30 años, y sigue disminuyendo³. Precisamente hay cada vez más proyectos de investigación centrados en la alimentación de rumiantes ya que son los mayores emisores de GEI del sector agrario. Así, se ha visto que el alga *Asparagopsis taxiformis*, una especie considerada invasora en el Mediterráneo, reduce la emisión de metano en más de un 80 %⁴¹ cuando se incorpora en un 0,5 % a la dieta; contiene sustancias como el diclorometano o el bromoformo que inhiben enzimas que utilizan las arqueas ruminales en la metanogénesis, como la metil-coenzima M reductasa (MCR). El problema es que se requerirían cantidades de algas actualmente no disponibles para alimentación animal, por lo que se están ensayando cultivos marinos y en piscinas para su producción a la escala necesaria. Otro compuesto, el 3-nitrooxipropanol (3-NOP), se ha ensayado como aditivo en piensos (ha participado el CSIC a través de la Estación Experimental del Zaidín, Granada) reduciendo en un 25-30 % la producción de CH₄ por inhibición de las arqueas

metanogénicas⁴².

Aunque quizás nunca serán suficientes, hay que señalar los avances que se han producido en cuanto al control de las condiciones ambientales (incluyendo temperatura y humedad) de los animales estabulados y las mejoras introducidas en el bienestar animal, tendentes a reducir las situaciones de estrés desencadenantes de patologías y disminución de la producción. Sería justo señalar que las explotaciones de altos rendimientos tienen un papel hoy día difícil de sustituir en términos de contención de precios y accesibilidad de la mayoría de la población a esos alimentos.

Así mismo, la implementación de programas sanitarios coordinados y zonificados en las explotaciones ganaderas (fundamento de las actuales Agrupaciones de Defensa Sanitaria), enfocados al historial epidemiológico del territorio y a los riesgos emergentes, junto con el manejo adecuado de los animales (formación), mejoras en alojamientos, incluyendo medidas de bioseguridad, mejora de calidad del agua y la dotación de medios y de personal a los servicios veterinarios oficiales, laboratorios y centros de investigación, son factores que contribuyen a la prevención de enfermedades, a su detección temprana y a la reducción del uso de antibióticos, que es hoy día un objetivo esencial en salud pública. Hay que citar la mejora que se ha producido en las redes de vigilancia epidemiológica⁴³, como la Red de Alerta Sanitaria Veterinaria (RASVE) en España, que es hoy día un sistema de información sanitaria esencial para estudiar la evolución de las enfermedades sujetas a notificación oficial, como la que ahora es objeto de preocupación por su potencial riesgo para la salud pública, la influenza aviar de alta patogenicidad, ya que se están notificando brotes en mamíferos de granja (visones)⁴⁴. No es asunto banal, ya que los cambios en el clima y en el uso del suelo darán lugar a oportunidades para el intercambio de virus entre especies de fauna silvestre previamente aisladas geográficamente, principalmente en puntos con gran biodiversidad cercanos a zonas densamente pobladas de Asia y África, facilitando la propagación de zoonosis⁴⁵. Todos tenemos en mente un ejemplo muy reciente de esto.

3. PESCA

La pesca extractiva y la acuicultura son particularmente vulnerables al cambio climático ya que la elevación de la temperatura del agua, la acidificación de los océanos y el aumento del nivel del mar se manifiestan de una manera global, afectándole de forma significativa. Además, los productos pesqueros cubren una parte muy importante de las necesidades alimenticias de la población mundial, especialmente en los países en vías de desarrollo, donde la pesca a pequeña escala para el mercado local es muy mayoritaria⁴⁶.

Los estudios muestran una redistribución del potencial de capturas pesqueras hacia latitudes más altas en detrimento de las que se observan en latitudes más bajas, cercanas a los trópicos⁴⁷. Muchas especies marinas están asociadas a la supervivencia de los corales por lo que el hecho combinado de su desaparición, la elevación de la temperatura del mar y la sobrepesca está llevando a situaciones preocupantes por la disminución en los volúmenes de capturas⁴⁸.

3.1. Adaptación y mitigación en el sector pesquero

La pesca y la acuicultura son contribuyentes menores a las emisiones de GEI ya que supondrían el 1,5 % de las emisiones totales a nivel mundial⁴⁶, incluyendo el uso de combustibles y las emisiones derivadas de la producción de piensos para la acuicultura. Por tanto, las medidas que se proponen para hacer frente al cambio climático se centran en la implementación de políticas adaptativas de ordenación pesquera, según las condiciones cambiantes de los recursos pesqueros, como la redistribución de especies o el agotamiento de determinados caladeros. En este sentido, la labor de investigación es fundamental para monitorizar la situación y comprobar su evolución. Así, la disminución de los recursos pesqueros ha obligado a la reordenación del sector pesquero en muchos países.

En nuestro entorno, la Política Pesquera Común (PPC) de la Unión Europea (UE) viene aplicándose desde hace décadas, con numerosas reformas (al igual que la PAC) que añadieron medidas como el reparto de cuotas de capturas por países (en 1983), la reducción de la flota comunitaria (de 1992 a 2002), acompañada de medidas estructurales para atenuar las consecuencias sociales e introduciendo el concepto de “esfuerzo pesquero”, a fin de restablecer y mantener el equilibrio entre los recursos disponibles y las actividades pesqueras. Estas medidas no tuvieron la eficacia esperada para poner fin a la sobrepesca, y el deterioro de muchas poblaciones de peces prosiguió a un ritmo incluso mayor. Se reformó la PPC, introduciendo la gestión a largo plazo de las actividades pesqueras, incluida la preparación de medidas de emergencia, planes plurianuales de recuperación para las poblaciones que se encontrasen por debajo del umbral biológico de seguridad (las llamadas paradas biológicas) y planes plurianuales de gestión para las demás poblaciones. Posteriormente se prohibieron los descartes y se establece el llamado rendimiento máximo sostenible (RMS) como el objetivo principal para todas las pesquerías, de modo que la mortalidad por pesca quedara fijada en un nivel de capturas de una determinada población que dé como resultado el RMS, con un refuerzo del aspecto científico, incrementándose la recogida de datos y la puesta en común de información sobre poblaciones, flotas e impacto de la actividad pesquera.

A nivel de relaciones internacionales, la PPC adoptó más recientemente normas que rigen las actividades de

las flotas pesqueras de la UE en aguas no pertenecientes a sus estados miembros y en aguas internacionales⁴⁹. Las actividades de pesca en esas aguas quedan vinculadas a acuerdos de cooperación sobre pesca sostenible y a la participación de la UE en organizaciones regionales de ordenación pesquera. Hay que tener en cuenta que cuando los recursos pesqueros se comparten o se extienden a través de fronteras internacionales, los cambios en la distribución de los potenciales de capturas pueden derivar en disputas. Así ocurrió cuando la distribución de la caballa del mar del Norte cambió hacia el norte y el oeste, causando una reducción de la abundancia en las aguas de Noruega y un aumento en las aguas de Islandia y las islas Feroe⁵⁰.

En cuanto a la acuicultura, es considerada una opción para paliar los efectos de la reducción de las capturas de la pesca extractiva en aquellas áreas en las que esto está sucediendo, siendo un medio de vida alternativo para los pescadores y otras actividades relacionadas cuando ya no pueden mantenerse con la pesca de captura debido al cambio climático, la explotación excesiva y otros factores. Del mismo modo, la acuicultura está incrementando su contribución a la producción mundial de productos pesqueros, ayudando a la seguridad alimentaria y a la nutrición de millones de personas. Al ayudar a satisfacer la creciente demanda de estos productos, la acuicultura también mitiga los incrementos de precios que de otro modo ocurrirían como consecuencia de una menor oferta ante una demanda creciente. En consecuencia, la PPC ha integrado también el fomento de una acuicultura sostenible, aumentando el rendimiento para abastecer el mercado de pescado de la UE y potenciando el crecimiento en las zonas costeras y rurales, a través de planes nacionales. Esto incluye la mejora de la gestión de explotaciones acuícolas y la selección de especies cultivadas; la investigación; la mejora de la planificación espacial de las explotaciones, que tenga en cuenta los riesgos relacionados con el cambio climático; y la mejora de las medidas de vigilancia ambiental con coordinación local, nacional e internacional, encaminada a la prevención y el establecimiento de sistemas de notificación temprana, que alerten a los productores y autoridades sobre inminentes fenómenos extremos.

Evidentemente una reducción de la flota pesquera, como ya se ha producido (y que seguramente continuará), es en sí misma una medida de mitigación de emisiones de GEI por el menor consumo de combustible. No obstante, hay otras alternativas como el uso de motores más eficientes y hélices de mayor tamaño en los buques pesqueros, mejor hidrodinámica mediante un diseño más eficiente de las embarcaciones y otras modificaciones del casco, o incluso reduciendo la velocidad media de los buques. Otras opciones que se plantean son el uso de artes de pesca que necesitan menos combustible (por ejemplo, materiales más ligeros, de alta resistencia y mallas de tamaños mayores).

4. FUENTES DE ALIMENTACIÓN ALTERNATIVAS

4.1. Alimentos silvestres

Los informes del IPCC citan de forma breve estas fuentes de alimentación, que contemplan diversas especies de vegetales y animales. Son más significativas en determinadas poblaciones indígenas¹⁴, en las que llegan a cubrir una parte importante de sus necesidades nutritivas, aunque se cita también su declive en los hábitos alimentarios de estas comunidades. A nivel global su importancia es relativa y en nuestro entorno la carne de caza puede considerarse un aprovechamiento derivado de una actividad lúdica principal, que tiene su importancia en el mundo rural en términos económicos.

4.2. Carne de laboratorio e insectos

El AR6 del IPCC¹⁴ refiere estas fuentes alternativas de proteínas para alimentación humana y animal, como medidas de mitigación de emisiones procedentes de la ganadería, por lo que es pertinente citarlas. Así, señala que la carne producida en laboratorio para la alimentación humana, en sustitución de carne procedente de la ganadería, permitiría una reducción en el uso de la tierra para pastizales y cultivos a favor de la producción de piensos, aunque está por ver el balance en términos de sostenibilidad. Por otra parte, el documento hace referencia a la sustitución en alimentación animal de parte de proteína procedente de cultivos (como la soja), por otra procedente de insectos para reducir la emisión de GEI, aunque realmente esto no está cuantificado.

La utilización de insectos en alimentación humana no es ni mucho menos una novedad. Sin embargo, sí puede considerarse así en la cultura occidental, especialmente en la europea en los últimos años. Los insectos entran dentro de la definición de “nuevos alimentos” de la UE⁵¹ y, de hecho, hay varias especies de insectos autorizadas para alimentación humana:

- Gusano amarillo de la harina (*Tenebrio molitor*)
- Langosta migratoria (*Locusta migratoria*)
- Grillo doméstico (*Acheta domesticus*)
- Larvas de escarabajo (*Alphitobius diaperinus*)

Por tanto, nos encontramos ante una realidad que podrá tener más o menos penetración en el mercado pero que no se debe despreciar.

5. DESPERDICIO ALIMENTARIO

Cada vez existe más conciencia y preocupación a nivel mundial por el desperdicio alimentario, ya que se trata de cantidades importantes de alimentos que han producido un consumo de recursos sin llegar a cumplir con su finalidad nutritiva. Por tanto, su reducción haría el sistema alimentario más sostenible, ayudando a la protección del medio ambiente. Es generado en distintas etapas a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde la producción primaria hasta el consumo. Desde diversas instancias, como la FAO, la UE o los gobiernos nacionales se están promoviendo campañas para su reducción. Por ejemplo, en España el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación puso en marcha la Estrategia “Más alimento, menos desperdicio”. Según los datos del Panel de cuantificación del desperdicio alimentario en hogares⁵², cada hogar español desperdició en 2021 una media de 70 kg o litros de alimentos y bebida. El 73,9 % son alimentos sin elaborar y, de éstos, más del 30 % son frutas; el 13,6 % verduras y hortalizas y el 13 % productos lácteos.

6. SEGURIDAD O INOCUIDAD ALIMENTARIA

Puede encontrarse en la literatura científica estudios y revisiones bibliográficas que describen el riesgo que el calentamiento global tiene en cuanto a la proliferación de microorganismos potencialmente productores de enfermedades de transmisión alimentaria⁵³. Por ejemplo, enfermedades como la campilobacteriosis y la salmonelosis, que son las dos más frecuentes en Europa por el consumo de alimentos, presentan un comportamiento cíclico estacional con picos en el periodo estival, coincidiendo con la elevación de las temperaturas⁵⁴. Por tanto, un incremento de la temperatura global llevaría a un mayor número de casos de estas enfermedades⁵⁵.

Se ha descrito también la influencia del cambio climático en el cambio de patrones de distribución, o frecuencia de aparición, o riesgo de que aparezcan determinados microorganismos o contaminantes en alimentos, como micotoxinas en productos de origen vegetal⁵⁶; biotoxinas marinas⁵⁷, virus y bacterias (como *Vibrio spp*⁵⁸) principalmente en organismos filtradores (moluscos bivalvos), con especial riesgo ante fenómenos meteorológicos extremos como inundaciones, y residuos de pesticidas y de medicamentos veterinarios⁵⁹.

6.1 Adaptación al cambio climático

En términos de salubridad alimentaria, las medidas adaptativas pasan forzosamente por la implementación de normas higiénico-sanitarias que minimicen el riesgo de contaminación de los alimentos. En este sentido, existe un acervo legislativo amplio en muchos países

y que es común en nuestro entorno europeo, ya que actualmente rigen reglamentos de la UE que fijan los requisitos estructurales, de higiene y documentales que deben cumplir las industrias alimentarias. En los países miembros, éstas deben implantar programas de autocontrol sanitario, el llamado sistema de análisis de peligros y puntos de control críticos (APPCC)⁶⁰, y están sujetas a controles oficiales ejecutados por funcionarios inspectores/as de salud pública, con frecuencias basadas en la valoración del riesgo, que a su vez son periódicamente auditados desde otras instancias de la Administración. La UE realiza auditorías a los Estados miembros para asegurar una aplicación uniforme de las regulaciones y garantizar que los productos alimenticios que circulan libremente por todo su territorio cumplen normas higiénico-sanitarias comunes.

Si tomamos como ejemplo las dos enfermedades antes citadas y considerando el conjunto de los países de la UE, solo se aprecia en los últimos años una ligera tendencia creciente en el número de casos de campilobacteriosis y ligeramente decreciente en los de salmonelosis⁵³. En parte, esa contención es debida a las medidas de control establecidas desde instancias públicas, lo que permite vaticinar que quizá el riesgo potencial por futuras temperaturas elevadas puede ser contrarrestado por la acción concertada de salud⁶¹. Por tanto, en este entorno las medidas de adaptación estarían basadas en la mejora y refuerzo de controles, como por ejemplo en el mantenimiento de la cadena de frío. No obstante, existen actividades más dependientes de las condiciones de temperatura ambiental, como la carne procedente de actividades cinegéticas, ya que los animales abatidos quedan expuestos a temperaturas ambientales cada vez más altas, en ocasiones en ubicaciones de difícil acceso, hasta que con cierta demora son introducidas en los medios de transporte refrigerados. Como consecuencia, el porcentaje de carnes que se declaran no aptas para el consumo durante su inspección por los servicios veterinarios oficiales puede aumentar⁶².

Para analizar la situación, su evolución y poder evaluar los controles es preciso disponer de sistemas de registro en bases de datos que lo permitan, suministrando la información necesaria a nivel regional, estatal y comunitaria. Así la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) recoge la información suministrada por las Comunidades Autónomas y elabora el Informe anual del Plan Nacional de Control Oficial de la Cadena Alimentaria en España⁶³, así como la información de Planes Nacionales específicos de Control Oficial, como la vigilancia de zoonosis y agentes zoonóticos, control de residuos de plaguicidas, vigilancia de resistencias a los antimicrobianos, plan nacional de investigación de residuos y estudios dirigidos.

Por tanto, los sistemas de información incluyen datos epidemiológicos de sanidad animal (RASVE) y de

control de la cadena alimentaria. Junto con los sistemas de vigilancia en sanidad ambiental y la Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica deberían quedar de alguna manera coordinados en el futura Red Estatal de Vigilancia en Salud Pública atendiendo al enfoque "Una sola salud" (*One Health*), que alude a la estrecha relación e interdependencia que existe entre los aspectos asociados a la salud humana, la salud animal y la salud ambiental, y que se menciona en el documento "Estrategia de Salud Pública 2022" del Ministerio de Sanidad⁶⁴.

Así pues, la mejora del sistema de información sanitaria, con datos de libre acceso para la comunidad científica, permitiendo realizar estudios sobre la evolución temporal de diversos indicadores (estacionalidades, tendencias, etc.), el desarrollo de modelos predictivos integrando datos epidemiológicos y climáticos, permitiendo elaborar mapas de riesgos contemplando distintos escenarios (por ejemplo, el estudio sobre el aumento de aflatoxinas en el maíz por el aumento de las temperaturas realizado por Battilani⁵⁷) y poder disponer de planes de actuación ante estos escenarios y ante eventos meteorológicos extremos.

Sin embargo, hay que ser conscientes del riesgo real que el calentamiento global supone en países donde las medidas de control son leves o no existen, y de los que no se tiene constancia de cuál es la tendencia por carecer de datos y estudios. Sería deseable un esfuerzo de financiación para proyectos de cooperación internacional y de transferencia tecnológica para establecer o renovar sus sistemas de información sanitaria y de control.

CONCLUSIONES

Existe un amplio consenso científico sobre los efectos desfavorables que el cambio climático está produciendo a nivel global en los sistemas de producción de alimentos, principalmente cultivos, ganadería y pesca. Las proyecciones indican una evolución negativa, sobre todo en los escenarios de menor mitigación de emisiones.

La mayor incertidumbre en la producción de alimentos, junto con la especulación de los mercados derivada de ella y de determinadas situaciones geopolíticas (ahora tenemos el ejemplo de la guerra en Ucrania), están ya produciendo importantes fluctuaciones en los precios de los alimentos en un contexto de mayor demanda por el crecimiento de la población mundial. No obstante, según los expertos, existen opciones adaptativas potencialmente suficientes para paliar los efectos del cambio climático sobre la producción de alimentos siempre y cuando vayan acompañadas de una mitigación en las emisiones.

Entre estas medidas (muchas son a la vez de adaptación y de mitigación) estarían la utilización de

variedades de cultivos adaptadas; mejoras tecnológicas y estructurales en la gestión del agua y en la agricultura de precisión; fomento de la agricultura ecológica y de conservación con un control de plagas menos dañino para el medio ambiente; reutilización de estiércoles; fomento de la ganadería extensiva y de las razas autóctonas; investigación y mejoras en alimentación y bienestar animal; y control y vigilancia de enfermedades, especialmente las de carácter zoonótico.

En materia de pesca el objetivo es restablecer y mantener el equilibrio entre los recursos disponibles y las actividades pesqueras, así como el fomento de una acuicultura sostenible como opción para paliar los efectos de la reducción de las capturas de la pesca extractiva y abastecer al mercado.

Las fuentes alternativas de proteína, como los insectos, son opciones a tener en cuenta, ya que son recursos que no conviene despreciar.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC)⁶⁵ incluye muchas de estas medidas de adaptación e integra las compartidas por las políticas europeas, como la PAC y la PCC, incluyendo como objetivo la reducción del desperdicio alimentario.

El aumento del riesgo de enfermedades de transmisión alimentaria por la elevación de la temperatura media es especialmente importante en países donde carecen de medidas de control y de sistemas de información sanitaria suficientemente desarrollados. El mantenimiento y mejora de los sistemas de alerta, vigilancia y de información sanitaria, así como de control oficial de alimentos, son medidas esenciales para contrarrestar los riesgos sobre la seguridad alimentaria asociados al cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

1. IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, et al (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021.
2. Mirón IJ. Cambio climático y riesgos alimentarios. *Rev. salud ambient.* 2017; 17(1):47-56. Disponible en: <http://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/835/803>.
3. Informe de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/es_nir_edicion2022_tcm30-523942.pdf.
4. Mbow, C, C Rosenzweig, LG Barioni, TG Benton, M Herrero, M Krishnapillai, et al. Food Security. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].
5. Hasegawa T, Sakai H, Tokida T, Nakamura H, Zhu C, Usui Y, et al. Rice cultivar responses to elevated CO₂ at two free-air CO₂ enrichment (FACE) sites in Japan. *Functional Plant Biology.* 2013; 40: 148-59. <https://doi.org/10.1071/FP12357>.
6. Moriondo M, Giannakopoulos C, Bindi M. Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. *Climatic Change.* 2011; 104:679-701.
7. Martínez-Lüscher J, Kizildeniz T, Vucetic V, Dai Z, Luedeling E, van Leeuwen C, et al. Sensitivity of grapevine phenology to water availability, temperature and CO₂ concentration. *Front. Environ. Sci.* 2016; 4:48. doi: 10.3389/fenvs.2016.00048.
8. Grab S, Craparo A. Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa: 1973-2009. *Agricultural and Forest Meteorology.* 2011; 151:406-13.
9. Lobell DB, Sibley A, Ortiz-Monasterio JI. Extreme heat effects on wheat senescence in India. *Nature Climate Change.* 2012; 2(3):186-9.
10. Zachariah M, Mondal A, Kouchak A. Probabilistic Assessment of Extreme Heat Stress on Indian Wheat Yields Under Climate Change. *Geophys. Res. Lett.* 2021;20(48): e2021GL094702.
11. Bajwa AA, Farooq M, Al-Sadi AM, Nawaz A, Jabran K, Siddique KHM. Impact of climate change on biology and management of wheat pests. *Crop Prot.* 2020; 137:105304.
12. Oerke EC. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 2006;144: 31-43.
13. Rodger JG, Bennett JM, Razanajatovo M, Knight TM, van Kleunen M, Ashman TL, et al. Widespread vulnerability of flowering plant seed production to pollinator declines. *Sci Adv.* 2021 Oct 15;7(42):eabd3524.
14. Bezner Kerr R, Hasegawa T, Lasco T, Bhatt I, Deryng D, Farrell A, et al. Food, Fibre, and Other Ecosystem Products. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022, pp. 713-906. Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter05.pdf.
15. Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science.* 2011; 333(6042):616-20.
16. Alexandratos N, Bruinsma J. *World Agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision.* ESA Working Paper No. 12-03, Agricultural Development Economics Division (ESA), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 2012.
17. Fernando N, Panozzo J, Tausz M, Norton R, Fitzgerald G, Seneweera S. Rising atmospheric CO₂ concentration affects mineral content and protein concentration of wheat grain. *Food Chemistry.* 2012; 133:1307-11.

18. Myers SS, Zanobetti A, Kloog I, Huybers P, Leakey ADB, Bloom AJ, et al. Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*. 2014; 7503 (510):139-42.
19. Beveridge L, Whitfield S, Challinor A. Crop modelling: towards locally relevant and climate-informed adaptation. *Clim Change* 2018; 147(3-4):475–89, doi:10.1007/s10584-018-2160-z.
20. Aggarwal P, Vyas S, Thornton P, Campbell BM. How much does climate change add to the challenge of feeding the planet this century? *Environ. Res. Lett.* 2019; 14(4): 4300.
21. Brozyna M, Furtado A, Henry RJ. Genomics of crop wild relatives: expanding the gene pool for crop improvement. *Plant Biotechnol. J.* 2016; 14:1070-85.
22. Gupta A, Rico-Medina A, Caño-Delgado AI. The physiology of plant responses to drought. *Science* 2020; 6488(368): 266-9.
23. Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital: El sistema de información agroclimática para el regadío (SIAR). Disponible en: <https://datos.gob.es/es/blog/el-sistema-de-informacion-agroclimatica-para-el-regadio-siar>.
24. Kane DA, Bradford MA, Fuller E, Oldfield EE, Wood SA. Soil organic matter protects US maize yields and lowers crop insurance payouts under drought. *Environ. Res. Lett.* 2021; 16(4):44018.
25. Renwick LLR, Kimaro AA, Hafner JM, Rosenstock TS, Gaudin ACM. Maize-Pigeonpea Intercropping Outperforms Monocultures Under Drought. *Front. Sustain. Food Syst.* 2020; 4:253.
26. Fernández-Quintanilla C, Barroso J. Impacto del cambio climático sobre los sistemas de gestión de malas hierbas. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 2020; 116(5): 396-404.
27. Gan Y, Liang C, Chai Q, Lemke RL, Campbell CA, Zentner RP. Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communication* 2014; 5: 5012.
28. Gollany HT, Polumsky RW. Simulating Soil Organic Carbon Responses to Cropping Intensity, Tillage, and Climate Change in Pacific Northwest Dryland. *J Environ Qual.* 2018 Jul;47(4):625-34.
29. Balmford A, Amano T, Bartlett H, Chadwick D, Collins A, Edwards D, Field R, Garnsworthy P, Green R, Smith P, Waters H, Whitmore A, Broom DM, Chara J, Finch T, Garnett E, Gathorne-Hardy A, Hernandez-Medrano J, Herrero M, Hua F, Latawiec A, Misselbrook T, Phalan B, Simmons BI, Takahashi T, Vause J, zu Ermgassen E, Eisner R. The environmental costs and benefits of high-yield farming. *Nature sustainability* 2018; 1: 477-85.
30. Zhang XQ, Pu C, Zhao X, Xue JF, Zhang R, Nie ZJ, Chen F, Lal R, Zhang HL. Tillage effects on carbon footprint and ecosystem services of climate regulation in a winter wheat-summer maize cropping system of the North China Plain. *Ecological Indicators* 2016; 67: 821-9.
31. Plan Estratégico de la Política Agrícola Común de España 2023-2027. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Plan Estratégico de la Política Agrícola Común de España 2023-2027. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/pac/post-2020/resumen-pac-es_tcm30-627662.pdf.
32. Dumont B, Andueza D, Niderkorn V, Lüscher A, Porqueddu C, Picon-Cochard C. A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass Forage Sci.* 2015; 70:239-54.
33. Hoffmann I. Climate change and the characterization, breeding, and conservation of animal genetic resources. *Animal Genetics*. 2010; 41:32-46.
34. Bertocchi L, Vitali A, Lacetera N, Nardone A, Varisco G, Bernabucci U. Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. *Animal*. 2014; 8:667–74.
35. Thornton P, Nelson G., Mayberry D, Herrero, M. Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty-first century. *Global Change Biol.* 2021; 27: 5762-72.
36. Godde C, Mason-D'Croz D, Mayberry D, Thornton PK, Herrero M. Risk of climate-related impacts on the livestock sector: A review of the evidence. *Global Food Security.* 2021; 28:100488.
37. Kuehnert, PA, Stefan CP, Badger CV, Ricks KM. Crimean-Congo Hemorrhagic Fever Virus (CCHFV): A Silent but Widespread Threat. *Curr. Trop. Med. Rep.* 2021; 8, 141–7.
38. Paz S. Effects of climate change on vector-borne diseases: an updated focus on West Nile virus in humans. *Emerg. Top. Life Sci.* 2019; 3(2), 143–52.
39. El sector de la carne de cerdo en cifras: Principales indicadores económicos. Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. Madrid, 2022. El Sector de la Carne de Cerdo en Cifras. Principales Indicadores Económicos – CPAGE. Disponible en: <https://cpage.mpr.gob.es/producto/el-sector-de-la-carne-de-cerdo-en-cifras-principales-indicadores-economicos-5/>.
40. Real Decreto 1053/2022, de 27 de diciembre, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las granjas bovinas. BOE núm. 312, de 29 de diciembre.
41. Roque BM, Venegas M, Kinley RD, de Nys R, Duarte TL, Yang X, et al. Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *PLoS ONE* 2021; 16(3): e0247820.
42. Martínez-Fernández G, Abecia L, Arco A, Cantalapiedra-Hijar G, Martín-García AI, Molina-Alcaide E, Kindermann M, Duval S, Yáñez-Ruiz DR. Effects of ethyl-3-nitrooxy propionate and 3-nitrooxypropanol on ruminal fermentation, microbial abundance, and methane emissions in sheep. *J Dairy Sci.* 2014;97(6):3790-9.
43. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Redes de vigilancia epidemiológica. Redes de vigilancia epidemiológica. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higiene-ganadera/sanidad-animal/alertas-sanitarias/redes_vigilancia.aspx.
44. Agüero M, Monne I, Sánchez A, Zecchin B, Fusaro A, Ruano MJ, del Valle Arrojo M, Fernández-Antonio R, Souto AM, Tordable P, Cañas J, Bonfante F, Giussani E, Terregino C, Orejas JJ. Highly pathogenic avian influenza A (H5N1) virus infection in farmed minks, Spain, October 2022. *Euro Surveill.* 2023;28(3):2300001.
45. Carlson CJ, Albery GF, Merow C et al. Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature* 2022; 607:555–62.
46. FAO: Impactos del cambio climático en la pesca y la acuicultura: Síntesis de los conocimientos y las opciones de adaptación y mitigación actuales. Resumen del Documento Técnico de Pesca y Acuicultura de la FAO no. 627. Roma, 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/CA0356ES/ca0356es.pdf>.
47. Bryndum-Buchholz A, Boyce DG, Tittensor DP, Christensen V, Bianchi D, Lotze HK. Climate-change impacts and fisheries management challenges in the North Atlantic Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2020; 648: 1-17.

48. Magel JMT, Dimoff SA, Baum, JK. Direct and Indirect Effects of Climate Change-Amplified Pulse Heat Stress Events on Coral Reef Fish Communities. *Bull Ecol. Soc. Am.* 2020; 101(3): e01706.
49. Reglamento (UE) 2017/2403 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2017, sobre la gestión sostenible de las flotas pesqueras exteriores. DOUE núm 347, de 28 de diciembre.
50. Jensen T, Frost H, Thøgersen T, Andersen JL. Game theory and fish wars: The case of the Northeast Atlantic mackerel fishery. *Fisheries Research* 2015;172: 7–16.
51. Reglamento (UE) 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2015, relativo a los nuevos alimentos, por el que se modifica el Reglamento (UE) n° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo y se derogan el Reglamento (CE) n° 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (CE) n° 1852/2001 de la Comisión. DOUE núm 327, de 11 de diciembre.
52. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Informe del desperdicio alimentario en España 2021. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/desperdicio/07052022_desperdicio_alimentario_2021_v2_tcm30-626538.pdf.
53. Mirón IJ, Linares C, Díaz J. The influence of climate change on food production and food safety. *Environmental Research* 2023; 216: 114674.
54. EFSA and ECDC (European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control). The European Union One Health 2020 Zoonoses Report. *EFSA Journal* 2021;19(12):6971. Disponible en: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6971>.
55. Kovats RS, Edwards SJ, Hajat S, Armstrong BG, Ebi KL, Menne B. The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiology and Infection*. 2004; 132 (3): 443-53.
56. Herrera M, Anadón R, Iqbal SZ, Bailly JD, Ariño A. Climate Change and Food Safety. In: Selamat, J., Iqbal, S. (eds) *Food Safety*. Springer, Cham. 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39253-0_8.
57. Battilani P, Toscano P, Van Der Fels-Klerx HJ, Moretti A, Camardo Leggieri M, Brera C, et al. Aflatoxin B 1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Sci Rep* 2016; 6: 24328.
58. Estevez P, Castro D, Pequeño-Valtierra A, Giraldez J, Gago-Martinez A. Emerging Marine Biotoxins in Seafood from European Coasts: Incidence and Analytical Challenges. *Foods*. 2019 May 1;8(5):149.
59. Froelich BA, Daines DA. In hot water: effects of climate change on *Vibrio*-human interactions. *Environ Microbiol*. 2020;22(10):4101-11.
60. Reglamento (CE) n° 852/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios. DOUE núm. 139, de 30 de abril.
61. Semenza JC, Menne B. Climate Change and Infectious Diseases in Europe *The Lancet ID*. 2009; 9:365-75. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70104-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70104-5).
62. Mirón IJ, Miguélez-Baños F, Ramiro-Casas A. Causas de carnes no aptas para el consumo humano en una sala de manipulación de caza del Distrito de Salud de Torrijos (Toledo). XVI Congreso Español de Salud Ambiental. *Rev. salud ambient.* 2022;22 (Espec. Congr.):216.
63. Ministerio de Consumo. Informe anual del Plan Nacional de Control Oficial de la Cadena Alimentaria en España. Disponible en: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/seccion/informe_anual_pncoca.htm.
64. Ministerio de Sanidad. Estrategia de Salud Pública 2022. Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/pdf/Estrategia_de_Salud_Publica_2022___Pendiente_de_NIPO.pdf.
65. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030. Madrid, 2020.