

Agricultura, sistemas alimentarios y comunidades rurales



Capítulo 11. Agricultura, sistemas alimentarios y comunidades rurales

Autores y colaboradores

Autor principal de coordinación federal

Rob Mitchell, USDA Agricultural Research Service

Autor principal del capítulo

Carl H. Bolster, USDA Agricultural Research Service

Autor principal del capítulo de la agencia

Andrew Kitts, NOAA Fisheries, Office of Science and Technology

Autores del capítulo

Amber Campbell, USDA National Institute of Food and Agriculture

Michael Cosh, USDA Agricultural Research Service, Hydrology and Remote Sensing Laboratory

Tracey L. Farrigan, USDA Economic Research Service

Alan J. Franzluebbbers, USDA Agricultural Research Service

David L. Hoover, USDA Agricultural Research Service

Virginia L. Jin, USDA Agricultural Research Service

Dannele E. Peck, USDA Agricultural Research Service, Northern Plains Climate Hub

Marty R. Schmer, USDA Agricultural Research Service

Michael D. Smith, National Oceanic and Atmospheric Administration

Editor revisor

Omanjana Goswami, Union of Concerned Scientists

Arte de apertura de capítulo

Julia Y.

Cita recomendada

Bolster, C.H., R. Mitchell, A. Kitts, A. Campbell, M. Cosh, T.L. Farrigan, A.J. Franzluebbbers, D.L. Hoover, V.L. Jin, D.E. Peck, M.R. Schmer, and M.D. Smith, 2023: Cap. 11. Agricultura, sistemas alimentarios y comunidades rurales. En: *La Quinta Evaluación Nacional del Clima*. Crimmins, A.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, B.C. Stewart, and T.K. Maycock, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023.CH11.ES>

Índice de Contenidos

Introducción	4
Mensaje clave 11.1	
La adaptación agrícola aumenta la resiliencia en un paisaje en evolución	6
Recuadro 11.1. Enfoques agroecológicos de la gestión de la tierra.....	10
Mensaje clave 11.2	
El cambio climático altera nuestros sistemas alimentarios de forma desigual	16
Impactos del cambio climático en la seguridad de los sistemas alimentarios	16
Costos socioeconómicos del cambio climático en los sistemas alimentarios.....	18
Los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria se distribuyen de forma desigual	20
Recuadro 11.2. Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema alimentario	21
Mensaje clave 11.3	
Las comunidades rurales afrontan desafíos y oportunidades únicos	22
Riesgos del cambio climático en las zonas rurales de América.....	22
Resiliencia de las comunidades rurales.....	22
Cuentas trazables.....	26
Descripción del proceso	26
Mensaje clave 11.1.....	27
Mensaje clave 11.2.....	29
Mensaje clave 11.3.....	31
Referencias	33

Introducción

Un clima cambiante, caracterizado por eventos extremos más frecuentes y severos, como olas de calor, sequías y precipitaciones extremas (KM 2.2), afectará la agricultura estadounidense, los sistemas alimentarios (un tema no abordado en anteriores Evaluaciones Nacionales del Clima [National Climate Assessments, NCA]) y las comunidades rurales. El cambio climático ha aumentado el riesgo para la producción agrícola, por ejemplo, al alterar las zonas de cultivo, los días de cultivo y la estacionalidad, lo que hace necesaria la adaptación para aumentar la resiliencia en un paisaje en evolución (KM 11.1). Se proyecta que el cambio climático reduzca la disponibilidad y asequibilidad de alimentos nutritivos y que sus impactos se distribuyan de forma desigual en la sociedad (KM 11.2). Las comunidades rurales, que gestionan gran parte de la tierra y los recursos naturales del país, se enfrentan a desafíos y oportunidades únicos debido al cambio climático (KM 11.3).

La agricultura siempre se ha enfrentado a condiciones meteorológicas impredecibles, pero un clima cambiante plantea desafíos adicionales. Entre los ejemplos destacados en la Quinta Evaluación Nacional del Clima (NCA5) se incluyen precipitaciones extremas que dañan los cultivos, retrasan la siembra y la cosecha y amplían el área de distribución de las plagas en el Noreste (KM 21.1); aumento de las temperaturas promedio y extremas que afecta negativamente la salud de los trabajadores agrícolas en el Sureste y el Suroeste (Figura 11.1; KM 22.3); reducciones del rendimiento del maíz debido tanto al exceso de agua como a la sequía extrema en el Medio Oeste (KM 24.1); mayor incidencia del estrés térmico en el ganado en el Suroeste (KM 28.3); y colapso de las principales pesquerías en Alaska (KM 29.3).

Se prevé que las alteraciones de los sistemas alimentarios y de las cadenas de suministro que los componen (véase Enfoque en riesgos de las cadenas de suministro) aumenten con el cambio climático (KM 19.1). Se proyecta que estas alteraciones encarezcan algunos productos alimenticios y los hagan menos accesibles, sobre todo para las personas y los hogares con ingresos más bajos, incluidos los de las zonas rurales. La inseguridad alimentaria afectó el 10.2 % (13.5 millones) de los hogares estadounidenses en 2021¹. Las desigualdades estructurales históricas han influido en la distribución de los recursos, la participación, la accesibilidad, los beneficios y las cargas dentro del sistema alimentario (Figura 20.1), y el cambio climático exacerbará estas desigualdades (Figura 18.2). Por ejemplo, muchos trabajadores del sistema alimentario viven con inseguridad alimentaria y están desproporcionadamente expuestos a los efectos del cambio climático, lo que intensifica los impactos socioeconómicos de estas desigualdades entrelazadas².

Las comunidades rurales suministran mano de obra para la producción agrícola y otros sectores económicos y a menudo actúan como administradores de los recursos de suelo y agua de la nación, por lo que poseen un conocimiento único de los paisajes rurales. El cambio climático aumenta los riesgos existentes en las comunidades rurales, algunas de las cuales disponen de recursos e infraestructuras limitados para adaptarse (KM 22.3). Muchos riesgos son desproporcionadamente mayores en algunas comunidades negras, indígenas, latinas y de bajos ingresos, y entre algunos agricultores a pequeña escala, principiantes y subrepresentados (KM 15.2, 16.2, 22.4, 26.4, 31.2).

En resumen, el cambio climático plantea importantes desafíos para la producción agrícola, los sistemas alimentarios y las comunidades rurales de Estados Unidos (EE. UU.), desde los productores primarios a las industrias de apoyo y los consumidores. Las prácticas climáticamente inteligentes basadas en enfoques agroecológicos son necesarias tanto para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero como para adaptarse a los cambios climáticos en curso. Puede darse una mitigación significativa mediante reducciones de las emisiones de óxido nitroso con el uso de tecnologías de precisión que determinen la cantidad, la fuente, la ubicación y el momento adecuados de las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados; formulación de dietas que reduzcan el metano en los sistemas de cría de rumiantes; y gestión de conservación con labranza cero, cultivos de cobertura y rotaciones de cultivos perennes para almacenar más carbono en

el suelo. Muchos de estos mismos planteamientos agroecológicos favorecerán la adaptación al cambio climático al mejorar la salud del suelo, aumentar la diversidad biológica y hacer un uso más eficiente de los fertilizantes, los piensos, el agua y la energía. La producción agrícola es un complejo entramado de características biofísicas y socioeconómicas que interactúan con las condiciones medioambientales, algunas de las cuales son estables y otras cada vez menos fiables con el cambio climático. Se espera que la dependencia de enfoques más agroecológicos contribuya a estabilizar la producción agrícola, preservando al mismo tiempo la integridad de los recursos naturales que son vitales para mantener la producción agrícola en el futuro (KM 32.2). Los enfoques agroecológicos tratan de lograr resultados agrícolas beneficiosos al tiempo que promueven los servicios ecosistémicos y los medios de subsistencia rurales (Recuadro 11.1).

Exposición de los trabajadores agrícolas al calor extremo y al humo



El cambio climático aumenta la exposición de los trabajadores agrícolas al calor extremo y al humo de los incendios forestales.

Figura 11.1. Los trabajadores agrícolas, por ejemplo, como se muestra aquí en Salinas, California, se enfrentan a riesgos para la salud agravados por el calor extremo, el humo de los incendios forestales y el COVID-19 (consulte el Capítulo 15; KM 28.4; enfoque en los incendios forestales del occidente; enfoque en el COVID-19 y el cambio climático). Créditos de la fotografía: ChuckSchugPhotography/iStock a través de Getty Images.

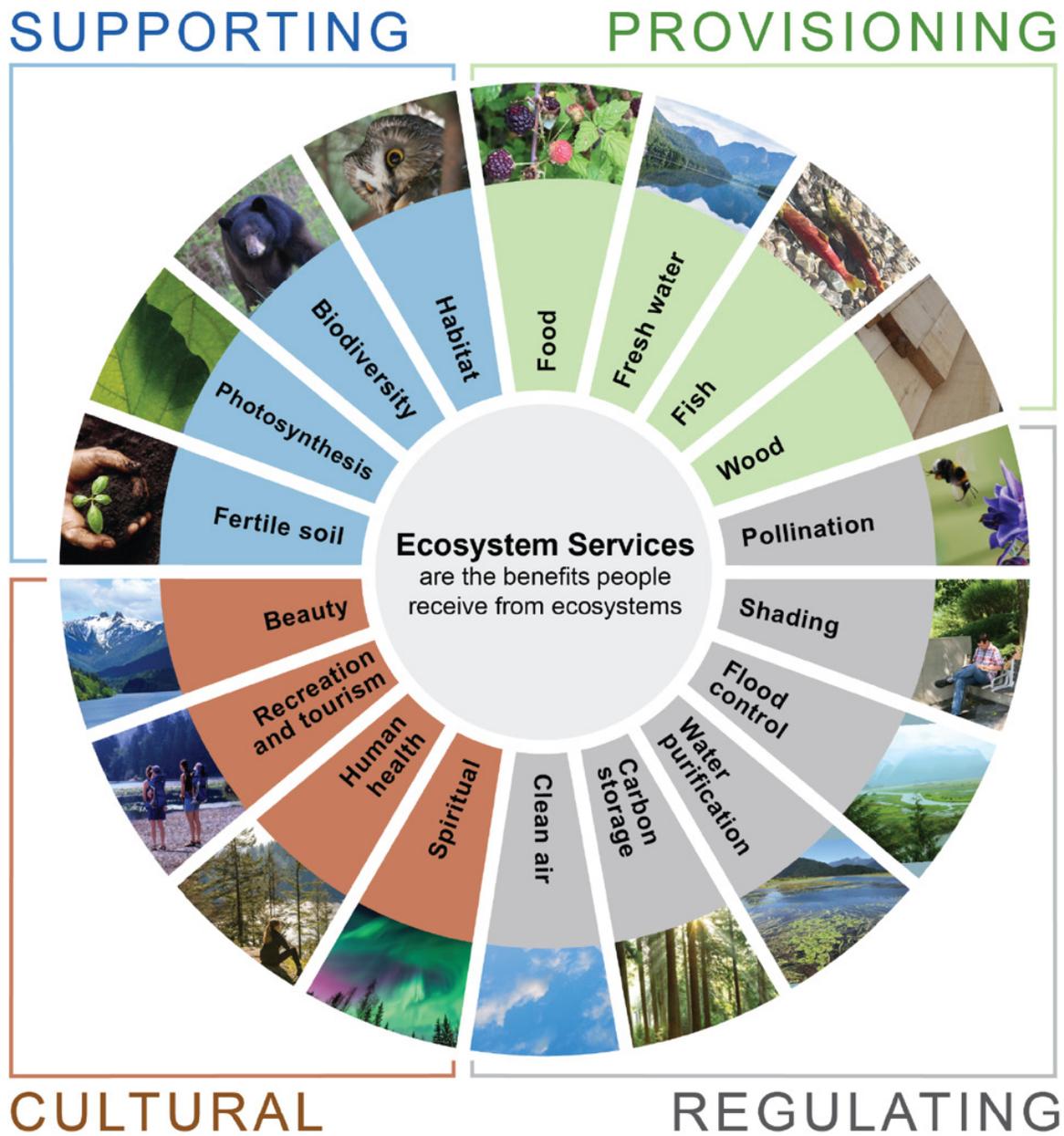
Mensaje clave 11.1

La adaptación agrícola aumenta la resiliencia en un paisaje en evolución

El cambio climático ha aumentado los riesgos para la producción agrícola al alterar las zonas y los días de cultivo que dependen de las precipitaciones, la temperatura del aire y la humedad del suelo (*muy probable, confianza muy alta*). La creciente evidencia de resultados medioambientales y económicos positivos de la gestión de la conservación ha llevado a algunos agricultores y ganaderos a adoptar prácticas agroecológicas (*confianza muy alta*), lo que aumenta el potencial de los productores agrícolas para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (*probable, confianza media*) y mejorar la resiliencia de la agricultura ante el cambio climático (*confianza alta*).

La agricultura se centra en el suministro de alimentos, piensos, madera y combustible. La agricultura moderna proporciona productos esenciales diseñados para la producción en masa con el fin de satisfacer las necesidades nutricionales y de vestido, construcción y energía de la sociedad. Históricamente, la labranza excesiva, la gran dependencia de los productos agroquímicos y los sistemas de cultivo simplificados han provocado la degradación del medio ambiente; por lo tanto, el uso de enfoques de gestión de la conservación adaptativos y la diversificación de los paisajes agrícolas³ pueden aumentar la resiliencia —la capacidad de anticiparse, prepararse, adaptarse, resistir y recuperarse de alteraciones como el cambio climático— y mejorar los servicios ecosistémicos que afectan la salud y el bienestar de plantas, animales y seres humanos (Figura 11.2). El conocimiento indígena también puede desempeñar un papel en estos enfoques adaptativos (KM 16.3, 30.5)^{4,5}.

Servicios ecosistémicos: centro de la rueda

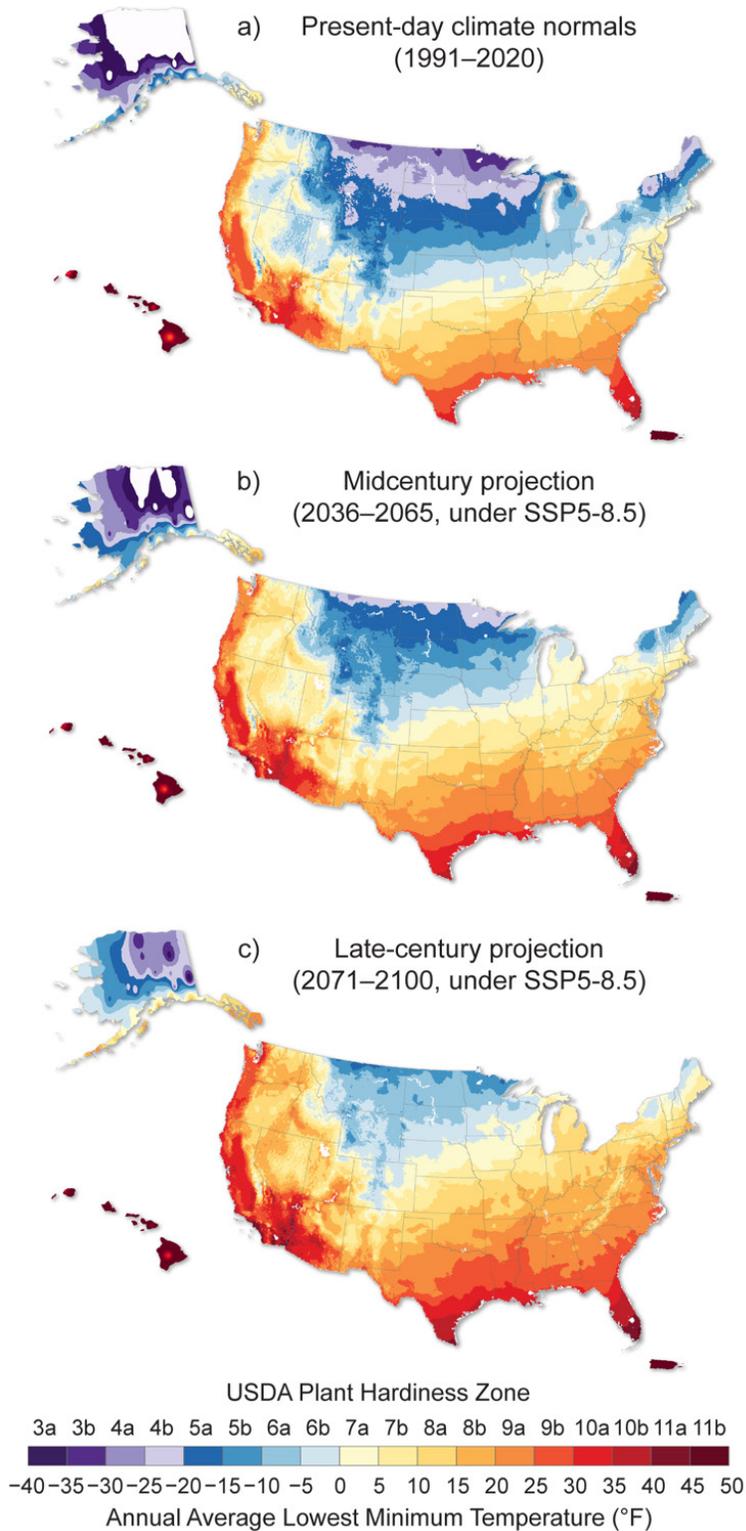


Los servicios ecosistémicos tienen amplios beneficios para las plantas, los animales y el bienestar humano.

Figura 11.2. Las personas reciben muchos beneficios del ecosistema, incluidos los servicios de aprovisionamiento, de regulación, de apoyo y culturales. Las prácticas de gestión adaptativa (consulte la Figura 8.1) fomentan la resiliencia ante el cambio climático y las perturbaciones relacionadas en estos servicios ecosistémicos (consulte la Figura 8.18). Adaptado con permiso de Metro Vancouver 2018⁶.

Los sistemas agrícolas dependen del suelo, del agua, del aire y de la luz solar, que varían estacionalmente y pueden fluctuar incluso a diario. El cambio climático altera estos recursos naturales fundamentales. Las zonas de rusticidad de las plantas, una medida común de la adecuación de las plantas a un clima local determinado, han cambiado a medida que el cambio climático alarga los períodos libres de heladas (Figura 11.3)⁷. Los cambios climáticos, junto con la mayor volatilidad meteorológica prevista, exigen cambios en las prácticas agrícolas, lo que incluye selección de cultivos, uso de equipos y enfoques de gestión.

Cambios proyectados en las zonas de rusticidad de las plantas

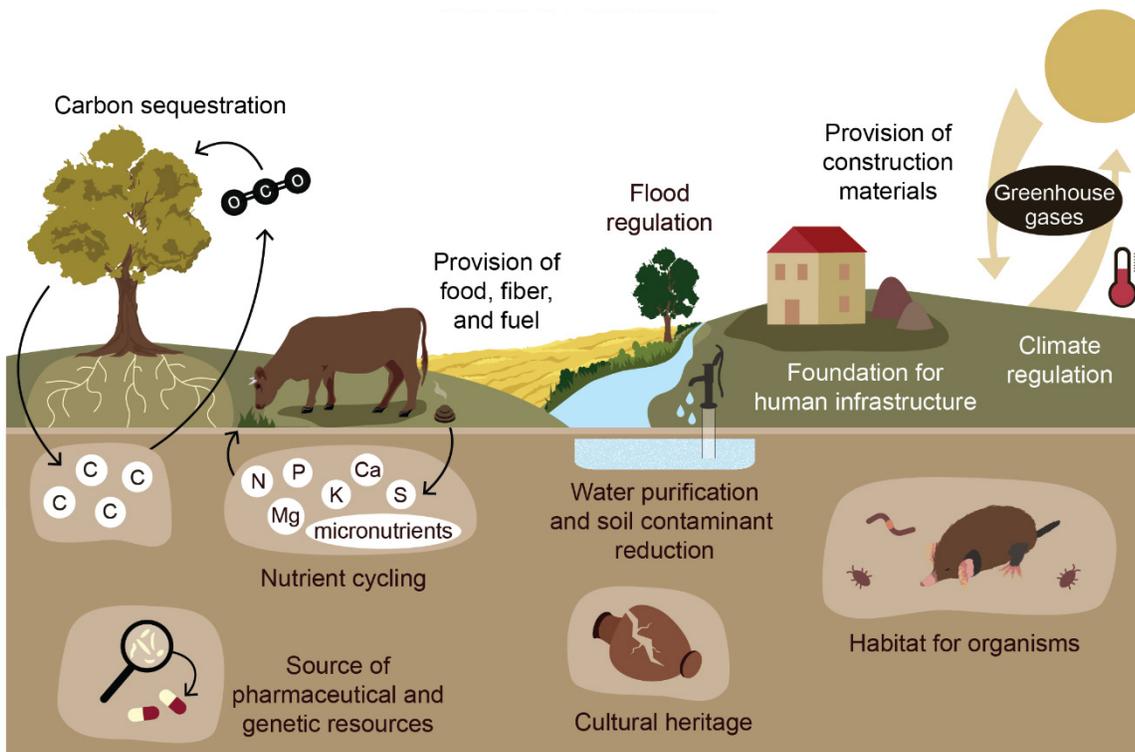


Se proyecta que las zonas de rusticidad de las plantas se desplacen hacia el norte a lo largo de este siglo.

Figura 11.3. Las zonas de rusticidad de las plantas ayudan a agricultores y jardineros locales a identificar los cultivos óptimos y las temporadas de siembra. Se proyecta que las zonas de rusticidad se desplacen hacia el norte a medida que el clima se caliente. Los mapas muestran las zonas de rusticidad de las plantas para (a) las normas climáticas actuales (1991-2020); (b) de mediados de siglo (2036-2065); y (c) finales de siglo (2071-2100) en un escenario de emisiones elevadas (SSP5-8.5). Créditos de la figura: USDA, NOAA NCEI y CISS NC.

El cambio climático agrava la degradación del suelo debido a sequías, inundaciones y episodios de calor excesivo que alteran la producción vegetal normal y los procesos ecosistémicos. La labranza excesiva, el sobrepastoreo y la dependencia en exceso de los productos agroquímicos pueden agotar aún más la materia orgánica del suelo y perjudicar su salud^{8,9,10,11}. La gestión de la salud del suelo puede mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas ante el cambio climático y apoyar las metas de sostenibilidad (Figura 11.4)¹². Cada vez se reconoce más que los enfoques agroecológicos basados en la conservación que mejoran la salud del suelo son necesarios para mantener la productividad al tiempo que se consigue un medio ambiente más sano^{13,14,15}. Mientras que la agroecología abarca dimensiones ecológicas, económicas y sociales^{16,17,18}, el concepto científico fundamental que subyace a la agroecología es el uso de principios ecológicos para diseñar y gestionar de forma sostenible los sistemas agrícolas¹⁹. La aplicación de los conceptos agroecológicos abarca una amplia gama de prácticas^{18,20}, que pueden solaparse con soluciones basadas en la naturaleza, tecnologías de precisión y agricultura inteligente que toma en cuenta el clima orientada a la adaptación y mitigación del cambio climático (Recuadro 11.1; Figura 11.5)^{21,22,23,24,25,26}. Las prácticas agroecológicas también pueden incluir adecuación de las especies al entorno, ciclo de nutrientes impulsado por la materia orgánica, gestión integrada y control natural de plagas siempre que sea posible^{27,28,29,30}, todo ello con el fin de reducir la dependencia de los insumos agroquímicos sintéticos. Además, se espera que un paisaje espacialmente diverso de tierras de cultivo, praderas, bosques y humedales favorezca un funcionamiento más sólido de los ecosistemas (Recuadro 11.1; Figura 11.5).

El suelo como cemento



Un suelo sano desempeña un papel fundamental en la agricultura, los ecosistemas, la sociedad y la cultura.

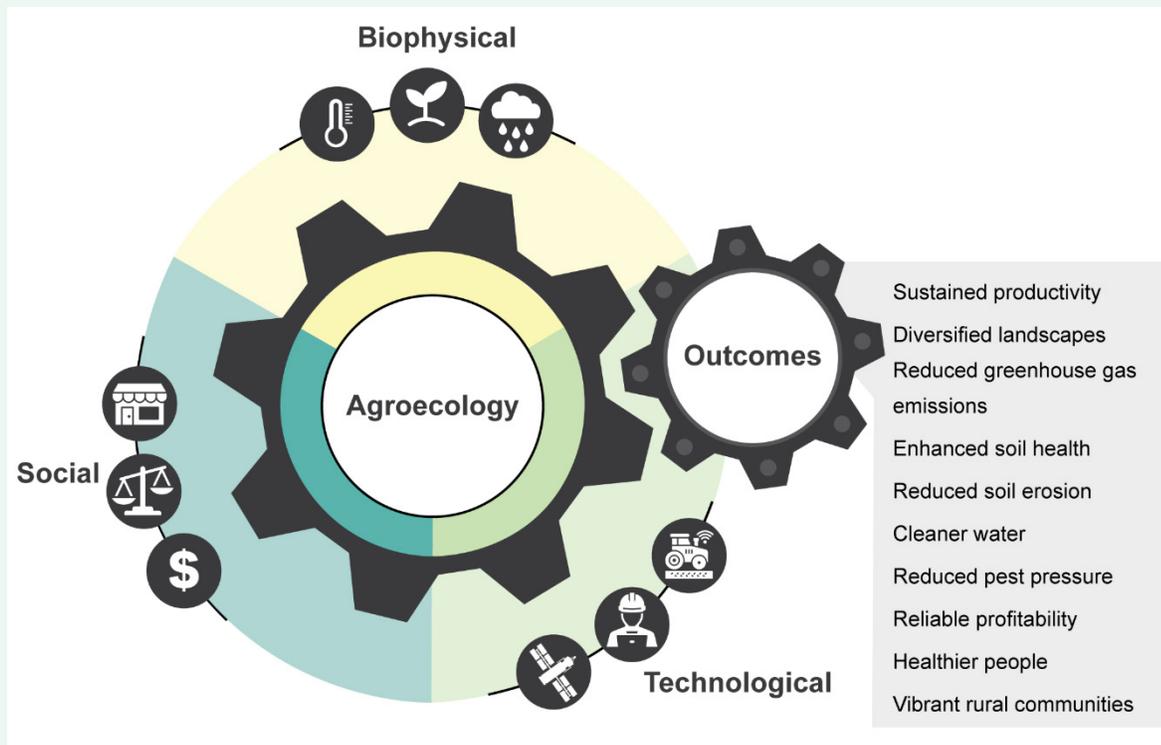
Figura 11.4. Un suelo sano es el cemento para muchas actividades agrícolas, ecológicas, microbiológicas, sociales y culturales. El cambio climático puede afectar negativamente la salud del suelo, debilitando así su función fundacional. Adaptado de Baveye et al. 2016³¹ [CC BY 4.0].

Recuadro 11.1. Enfoques agroecológicos de la gestión de la tierra

Existen múltiples definiciones de agroecología. En consecuencia, lo que constituye una práctica aceptable según una definición puede quedar excluida según otra. Aquí, los enfoques agroecológicos se definen como prácticas de gestión de la tierra que integran conceptos y principios biofísicos, tecnológicos y sociales para orientar el diseño y la gestión de los sistemas alimentarios y agrícolas. Las prácticas agroecológicas incluyen, entre otras, 1) mejora genética y de la reproducción; 2) gestión de la salud del suelo; 3) integración y diversificación de cultivos y ganado; y 4) tecnologías de precisión. La agroecología considera las prácticas agrícolas y los enfoques de gestión que se desarrollan a través de una lente de ciencia de sistemas, teniendo en cuenta las condiciones locales y la historia. La agroecología puede incluir la agricultura de subsistencia y ecológica, pero también el uso prudente de los recursos mediante intervenciones tecnológicas. Independientemente de la escala y del nivel de inversión tecnológica, la agroecología es la puesta en práctica de conceptos y principios ecológicos con base científica para diseñar y gestionar agroecosistemas productivos y sostenibles (Para obtener un análisis más exhaustivo sobre la agroecología, consulte Altieri *et al.* 2015³²).

Los enfoques agroecológicos se utilizan para lograr resultados agrícolas prácticos e inteligentes que toman en cuenta el clima, equilibrados con la mejora de los servicios ecosistémicos y los medios de subsistencia rurales. Las metas de la agricultura inteligente que toma en cuenta el clima son aumento de la productividad, adaptación al cambio climático y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG)³³. Los servicios ecosistémicos deseados son mitigar las emisiones de GHG, incrementar el carbono del suelo, aumentar la biodiversidad, mejorar la calidad medioambiental y aumentar la adaptabilidad y resiliencia de los agroecosistemas. No se prescriben prácticas específicas para la adaptación al clima; este marco científico permite a los profesionales tomar decisiones que reflejen sus condiciones medioambientales y socioeconómicas particulares.

Enfoques y resultados de la agroecología



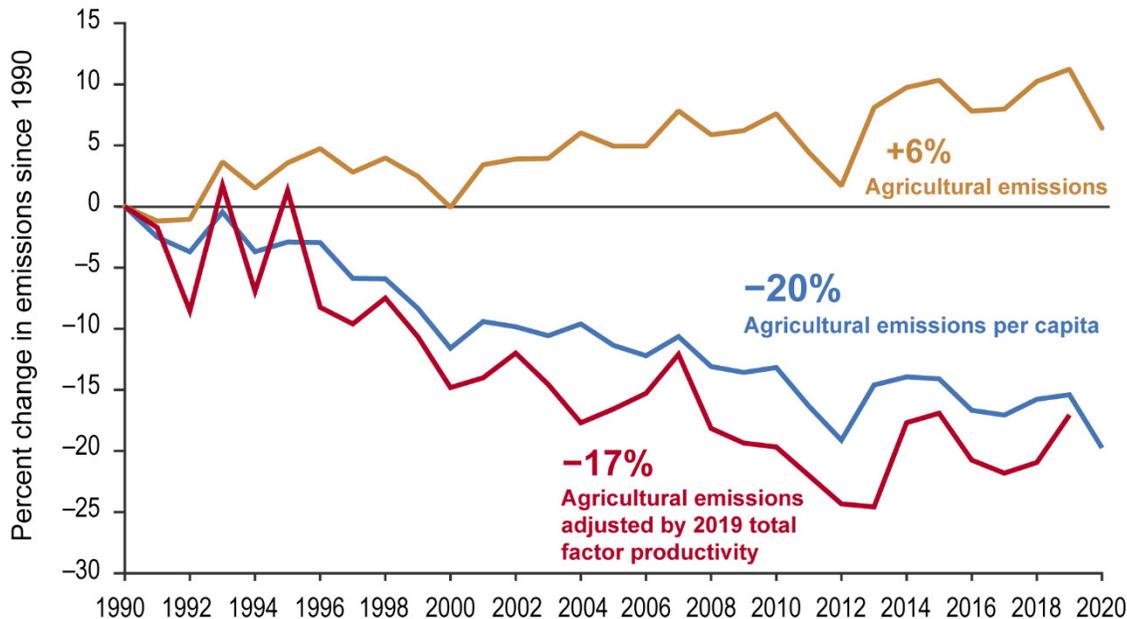
Los enfoques agroecológicos pretenden lograr resultados agrícolas beneficiosos al tiempo que promueven los servicios ecosistémicos y los medios de subsistencia rurales.

Figura 11.5. La puesta en práctica de enfoques agroecológicos basados en la ciencia produce resultados que equilibran la productividad y la rentabilidad agrícolas con los servicios ecosistémicos y el bienestar de la sociedad. Créditos de la figura: USDA.

Los sistemas basados en la agroecología promueven la transferencia de nutrientes entre los componentes vivos del suelo (bacterias y hongos) y los no vivos (materia orgánica y minerales) para que los nutrientes estén más disponibles para los cultivos y reducir al mínimo la dependencia de los fertilizantes sintéticos. Los fertilizantes nitrogenados contribuyen en gran medida a las emisiones de óxido nitroso (N₂O), un potente gas de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG). Mejorar la eficiencia de los cultivos en el uso de nutrientes (es decir, aumentar la producción de los cultivos por unidad de fertilizante utilizado) puede reducir los costos de los insumos para los agricultores, evitar la contaminación de las masas de agua por escorrentía y lixiviación y reducir las emisiones de N₂O al cambio climático y, al mismo tiempo, hacer que las granjas sean más resilientes ante los cambios climáticos (Figura 11.5)^{34,35}.

En las últimas tres décadas, las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura estadounidense no han dejado de aumentar (Figura 11.6). Sin embargo, las economías de escala, el perfeccionamiento de las tecnologías agrícolas y la mejora de la genética también han incrementado la productividad global, lo que se ha traducido en una reducción de las emisiones de GHG per cápita y por unidad de productividad total de los factores (relación entre productos agrícolas producidos e insumos utilizados).

Índices de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura estadounidense, de 1990 a 2020



Aunque las emisiones totales de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura siguen aumentando, las emisiones per cápita y por unidad de productividad total de los factores (relación entre la producción agrícola y los insumos utilizados) han disminuido en los últimos 30 años.

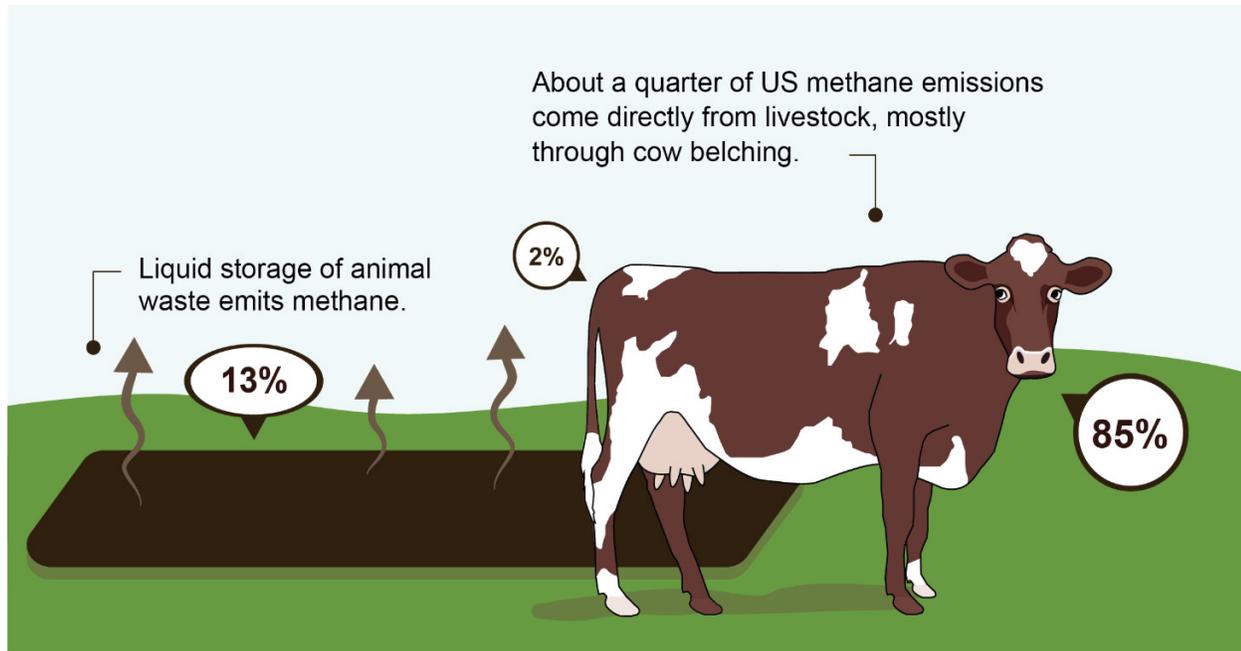
Figura 11.6. En los últimos 30 años, los descensos de las emisiones agrícolas estadounidenses per cápita (línea azul) y por unidad de productividad agrícola (línea roja) reflejan un sector agrícola estadounidense cada vez más eficiente que produce más alimentos, fibras y combustibles renovables con menos recursos. A pesar de las mejoras per cápita y por unidad de productividad, la trayectoria a largo plazo de las emisiones totales de la agricultura estadounidense (línea amarilla) sigue aumentando, y la mitigación sigue siendo una prioridad crítica. Adaptado con permiso de ©Myers 2022³⁶.

A pesar de la mayor eficiencia de la producción (KM 11.2), las emisiones totales de GHG a la atmósfera siguen aumentando, y la mitigación sigue siendo una prioridad crítica (Capítulo 32). Las prácticas agroecológicas

suelen mitigar las emisiones de GHG al tiempo que proporcionan mecanismos de adaptación clave para superar los déficits de agua, mejorar el ciclo de los nutrientes, evitar las presiones de las plagas y estabilizar la producción a lo largo del tiempo^{37,38}. El secuestro de carbono en los suelos agrícolas ha surgido como una estrategia para reducir las emisiones de GHG. Los usos de la tierra y las prácticas agrícolas que mejoran la cubierta vegetal y el crecimiento durante todo el año convierten el dióxido de carbono atmosférico (CO₂) en biomasa vegetal, la mayor parte de la cual se descompone y vuelve a liberarse a la atmósfera en forma de CO₂, pero una pequeña proporción se almacena como materia orgánica del suelo. Porque el suelo pierde carbono mucho más rápido de lo que puede ganarlo³⁹, minimizar las perturbaciones o mantener una cubierta vegetal o residuos más estables y persistentes es fundamental para el almacenamiento de carbono en el suelo y sus servicios ecosistémicos asociados. Por ejemplo, los sistemas perennes —como la agrosilvicultura, que combina pastizales con bosques— estimulan el almacenamiento de carbono en el suelo y en la vegetación leñosa, al tiempo que favorecen una mayor biodiversidad, alivian el estrés térmico del ganado y mejoran la gestión de las cuencas hidrográficas^{40,41,42,43}.

La producción ganadera se ve afectada por el cambio climático y contribuye a este al emitir múltiples GHG (CO₂, N₂O y metano [CH₄]), cuyas cantidades varían de acuerdo con la escala de producción. Los ganaderos también se enfrentan a decisiones de gestión cada vez más difíciles debido a las fluctuaciones de las precipitaciones, las condiciones de los forrajes de los pastizales, los costos de los piensos y los precios de mercado del ganado^{44,45,46}. Las condiciones cambiantes han ocasionado una gestión ganadera adaptativa, que promueve una toma de decisiones flexible a la vez que documenta y aprende de las acciones de gestión anteriores^{47,48}. Las emisiones entéricas de la producción ganadera contribuyen en un 25 % al total de emisiones de CH₄ (Figura 11.7)⁴⁹. Se han identificado algunas opciones de mitigación-reducción, como los suplementos alimenticios para rumiantes y la captura de energía de los sistemas de estiércol líquido (KM 32.3). El metano es un potente GHG, pero su vida en la atmósfera suele ser más corta (unos 10 años) que la del CO₂ (de meses a milenios) y del N₂O (116 años; Tabla 2.1). Se espera que una contabilidad más precisa del potencial de calentamiento global que diferencie entre GHG de vida larga y de vida corta mejore los cálculos de la temperatura global futura, así como los beneficios no climáticos de las estrategias de reducción específicas de GHG, especialmente para el CH₄ procedente de la agricultura^{50,51}.

Emisiones de metano procedentes del ganado



Los sistemas de cría de rumiantes contribuyen a las emisiones de metano de los EE. UU. principalmente a través de los eructos.

Figura 11.7. La fermentación entérica de los rumiantes a través de la eructación contribuye a la mayor parte de las emisiones de metano de los sistemas de producción animal de los EE. UU. (85%), con contribuciones menores de las lagunas de estiércol (13%) y las flatulencias del ganado (2%). La fermentación entérica aporta aproximadamente el 25% del total de la producción nacional de metano, lo que convierte a la agricultura en la mayor fuente de emisiones de metano de los EE. UU. Créditos de la figura: USDA, NOAA NCEI y CISSNC.

La complejidad de las amenazas relacionadas con el clima y la diversidad de los entornos agrícolas de Estados Unidos exigen una serie de enfoques de gestión. Si se combinan genes vegetales y animales únicos en la región con prácticas de gestión adecuadas, se puede optimizar el secuestro de carbono en el suelo, reducir las emisiones de GHG y mejorar la adaptabilidad a un clima cambiante. Una gestión de precisión a mayor escala, con la ayuda de herramientas de soporte digital e inteligencia artificial, puede tener más en cuenta la variabilidad del suelo y el microclima en la granja, el campo y el subcampo para maximizar los resultados con los recursos naturales existentes.

En todas las escalas espaciales y temporales, es fundamental disponer de datos precisos, fiables y accesibles para tomar decisiones efectivas de gestión agrícola y mejorar la resiliencia ante el cambio climático. La instrumentación y la tecnología han evolucionado rápidamente, pero deben armonizarse con la información histórica para orientar los enfoques de gestión adaptativa^{52,53}. Los datos recopilados durante períodos más largos son necesarios para interpretar, por ejemplo, la disponibilidad de agua en períodos de sequía. El acoplamiento de mediciones de campo con modelos informáticos puede agregar estimaciones de productividad, cambios en el carbono del suelo, biodiversidad y calidad del agua en granjas, condados y regiones. El desarrollo de estas tecnologías a escalas local, regional y nacional ayudará a tomar decisiones para abordar la creciente competencia entre los sectores alimentario, hídrico y energético. Sin embargo, para ser efectivos, los datos agrícolas sobre prácticas climáticamente inteligentes deben ser ampliamente accesibles y a gran escala⁵⁴.

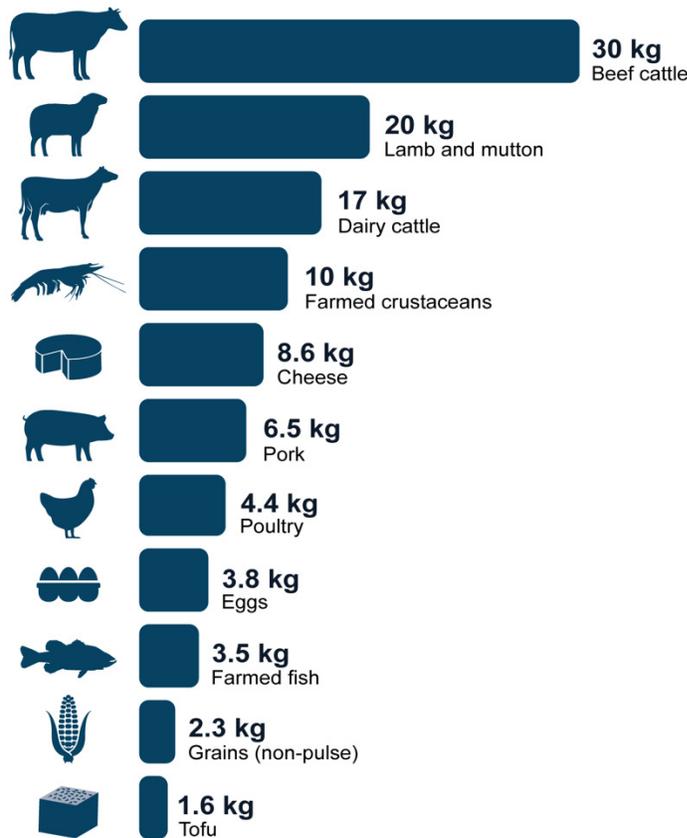
La creciente preocupación por la sostenibilidad alimentaria ha impulsado el interés público por la producción alternativa de fuentes vegetales y proteínicas, lo que revela las preferencias de los consumidores

por productos que afirman reducir las emisiones de GHG. Algunos ejemplos son agricultura urbana (p. ej., huertos comunitarios, bosques de alimentos y granjas en azoteas), agricultura de ambiente controlado (p. ej., invernaderos, casas de cultivo y cámaras de crecimiento), sustitución de alimentos de origen marino (“dieta azul”) por alimentos de origen ganadero⁵⁵, carnes de origen vegetal y producción de alimentos cultivados con células (p. ej., carnes cultivadas). Estas opciones ofrecen la posibilidad de reducir las emisiones de GHG^{56,57,58,59}. Sin embargo, algunos enfoques pueden involucrar más infraestructura o insumos energéticos por unidad de producción de alimentos, lo que aumenta sus emisiones de GHG en comparación con las prácticas agrícolas convencionales⁶⁰. El desarrollo, la asequibilidad y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas alternativos dependerán de factores sociales, económicos y medioambientales, así como de las limitaciones institucionales (p. ej., leyes e incentivos para crear sistemas sostenibles)⁶¹.

Al igual que ocurre con las prácticas de producción terrestre, las innovaciones en acuicultura también han ocasionado planteamientos de producción de proteínas adaptados al clima. La elevada eficiencia de conversión de la acuicultura (es decir, unidad de proteína producida por unidad de alimento)⁶² y las menores emisiones globales de GHG en comparación con otras proteínas animales (Figura 11.8)⁶³ resaltan su potencial climáticamente inteligente para aumentar la producción de proteínas, la nutrición humana y la disponibilidad de alimentos⁶⁴. Sin embargo, dentro de la acuicultura, las emisiones de GHG varían según la especie, siendo las algas y los bivalvos los que menos emiten⁶⁵. Además, la localización de la acuicultura marina y la cría selectiva pueden reducir aún más los impactos relacionados con el clima⁶⁶. Aunque la producción planificada a través de la acuicultura puede amortiguar las alteraciones del cambio climático en la pesca silvestre (Capítulo 10), el aumento de las temperaturas, la acidificación del océano y el aumento del nivel del mar debido al cambio climático también limitarán el aumento de la producción acuícola⁶⁷. Además, algunas comunidades costeras e indígenas han planteado complejos problemas sociales y ecológicos en relación con la acuicultura. Las preocupaciones sociales incluyen el conflicto con los medios de subsistencia tradicionales y comerciales y la consolidación de las actividades empresariales. Los problemas ecológicos incluyen la introducción de enfermedades y parásitos en las especies salvajes, la competencia entre las especies salvajes y las criadas en piscifactorías, la contaminación y los daños causados por la piscicultura a los lechos marisqueros, entre otros (KM 11.3)^{68,69}.

Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la producción de proteínas

Shown as kilogram (kg) CO₂ equivalent per 100 grams of protein



Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la producción de proteínas varían mucho según el tipo de alimento.

Figura 11.8. Las emisiones de gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG) estimadas procedentes de la producción de proteínas varían mucho según el tipo de alimento. Emisiones medias mundiales (en kg de dióxido de carbono [CO₂] equivalentes por cada 100 g de proteína producida) para 11 de las principales fuentes de proteínas. Aunque los granos de cereales tienen un menor contenido en proteínas, se incluyen aquí porque contribuyen en un 41 % a la ingesta mundial de proteínas. Aunque los valores de las emisiones estadounidenses pueden diferir ligeramente de los globales, se espera que las diferencias relativas en las emisiones de GHG por tipo de proteína sean consistentes. Créditos de la figura: USDA, NOAA NCEI y CISESS NC.

Crear sistemas de producción agrícola resilientes ante el cambio climático es posible. Enfoques agroecológicos respaldados por programas de conservación (como los que ofrece el USDA a través de los Servicios de Conservación de Recursos Naturales, la Agencia de Servicios Agrícolas y la Agencia de Gestión de Riesgos)⁷⁰ pueden crear oportunidades rurales (Recuadro 25.3) a la vez que optimizan las metas de producción con los servicios ecosistémicos para almacenar carbono en el suelo, reducir las emisiones de GHG, proteger la biodiversidad, mantener la calidad del agua y del aire y mejorar la salud del suelo y de las personas al reducir la exposición a contaminantes. Los productores pueden centrarse en la adaptación para ajustar la gestión al cambio climático o en la mitigación para almacenar carbono orgánico del suelo y reducir las emisiones de GHG.

Mensaje clave 11.2

El cambio climático altera nuestros sistemas alimentarios de forma desigual

Se proyecta que el cambio climático altere los sistemas alimentarios de forma que se reduzca la disponibilidad y asequibilidad de alimentos nutritivos, con impactos económicos desiguales en toda la sociedad (*probable, confianza media*). Los impactos del cambio climático sobre otras medidas de bienestar humano también se distribuyen de forma desigual, como el empeoramiento del estrés térmico entre los trabajadores agrícolas (*confianza alta*) y las alteraciones de la capacidad de los pueblos que viven de la subsistencia para acceder a los alimentos a través de la caza, la pesca y la búsqueda de alimentos (*confianza alta*).

Impactos del cambio climático en la seguridad de los sistemas alimentarios

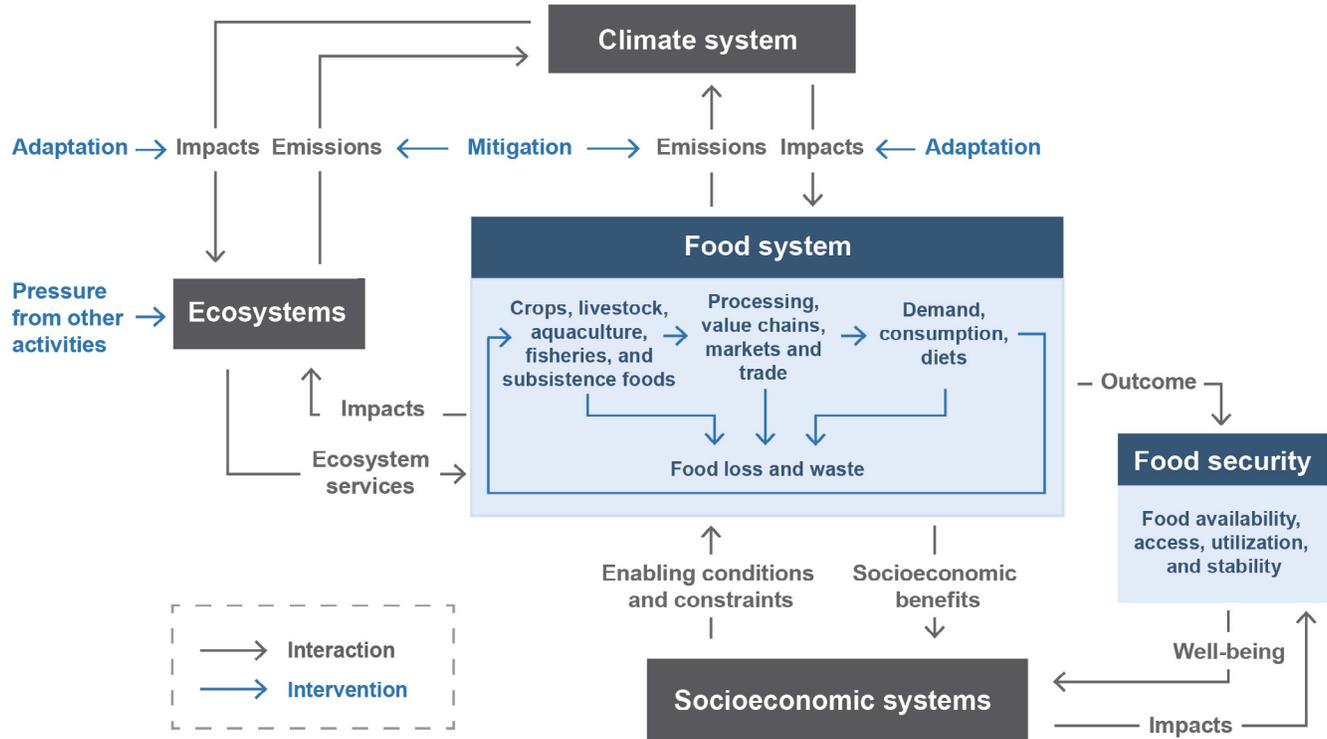
Se prevé que todas las dimensiones de la seguridad alimentaria —disponibilidad, accesibilidad, utilización (o usabilidad) y estabilidad⁷¹— se vean afectadas por el cambio climático a través de cambios a largo plazo en las condiciones climáticas promedio (p. ej., precipitaciones anuales y temperatura), así como por el aumento de la variabilidad climática y de la frecuencia, la magnitud y la duración de los eventos climáticos extremos (Capítulo 2). Estos cambios climáticos están afectando todos los aspectos de la cadena de suministro de alimentos (Figuras 11.9, 11.10), incluida la producción, el almacenamiento, la transformación, la distribución, la venta al por menor y el consumo (Figura F4.1)^{72,73}. Las alteraciones en la cadena de suministro de alimentos tienen impactos tanto locales como globales en los sistemas alimentarios, incluida la seguridad alimentaria (Figuras 11.11, 23.9).

A escala local o regional, los eventos meteorológicos extremos y los extremos compuestos (p. ej., una ola de calor durante una sequía) afectan la seguridad alimentaria local al dañar la producción de alimentos y destruir las infraestructuras asociadas (enfoque en eventos compuestos; KM 22.4, 28.3)^{74,75}. En ocasiones, estos impactos se extienden a los sistemas alimentarios mundiales, lo que afecta los precios y la disponibilidad en otras regiones del mundo^{76,77}. A escala nacional o internacional, la coincidencia de eventos extremos y alteraciones no climáticas (p. ej., recesiones, pandemias o conflictos), a veces, tiene efectos en cascada y limita el acceso a los alimentos y su disponibilidad a escala local en todo el mundo, y reduce los suministros, lo que limita el comercio y aumenta los precios (KM 30.1)^{72,78}.

La vulnerabilidad de los sistemas alimentarios al cambio climático depende de sus complejas estructuras, como la dependencia de los alimentos cultivados localmente frente a los importados⁷⁹ y cómo responden los sistemas a los cambios en el clima, los ecosistemas y los factores socioeconómicos (Figuras 11.9, 23.9). Cuando se producen perturbaciones generalizadas, los elementos locales del sistema alimentario pueden ayudar a aislar a las comunidades de algunos impactos a gran escala (KM 30.1). Por ejemplo, los agricultores locales, los procesadores móviles de carne y las organizaciones de asistencia alimentaria ayudaron a aislar a sus comunidades de algunos de los efectos de la escasez de trabajadores relacionada con el COVID-19 en los sectores del procesamiento comercial de alimentos y el transporte⁷⁸.

A la inversa, cuando se produce una crisis localizada, el comercio interestatal, nacional e internacional puede ayudar a llenar las brechas en la disponibilidad de alimentos (KM 19.2)⁷⁹. Cada uno de estos elementos locales y no locales del sistema alimentario tiene sus fortalezas y sus debilidades^{78,80,81}, lo que incluye diferentes impactos sobre las emisiones de GHG, la socioeconomía y los bienes y servicios ecosistémicos (p. ej., almacenamiento de carbono, biodiversidad, calidad del agua; Figura 11.9; Recuadro 11.2).

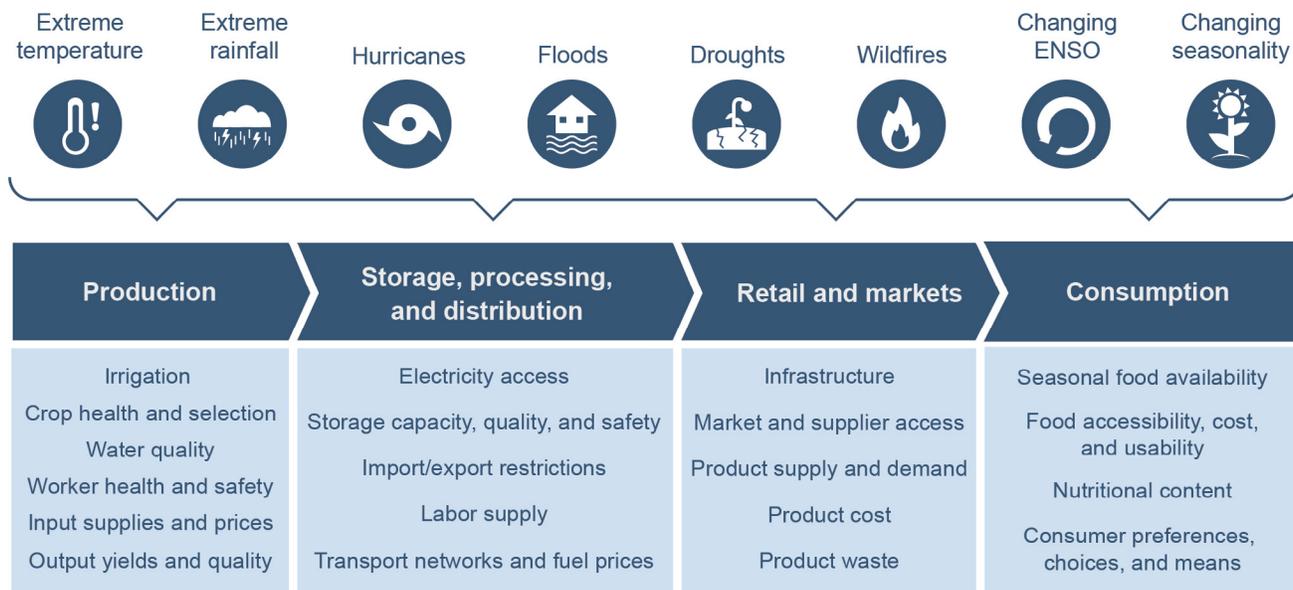
Conexiones entre clima, alimentación, ecosistemas y sistemas socioeconómicos



La seguridad alimentaria es un resultado del sistema alimentario, que influye en el sistema climático, los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos y se ve influido por estos.

Figura 11.9. Un sistema alimentario es una red compleja que engloba todas las entradas y salidas involucradas en la producción, la búsqueda de alimentos, la recolección, el transporte, la transformación, la venta al por menor, el consumo y la pérdida y el desperdicio de alimentos. Puede haber distintos tipos de sistemas alimentarios, cada uno de los cuales impacta e impactado por el clima, los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos. Las interacciones entre estos sistemas influyen en el bienestar humano a través de los resultados de la seguridad alimentaria, como la disponibilidad, el acceso, la utilización y la estabilidad de los alimentos. Las intervenciones como la mitigación y la adaptación, pueden reducir los riesgos para los sistemas alimentarios, lo que mejora la seguridad alimentaria y el bienestar dentro de los sistemas socioeconómicos. Adaptado con permiso de la Figura 5.1 en Mbow et al. 2019⁸².

Ejemplos de efectos del cambio climático en la cadena de suministro de alimentos



El cambio climático tiene efectos en cascada y agravantes en todas las fases de la cadena de suministro de alimentos.

Figura 11.10. Los eventos extremos provocados por el cambio climático (primera fila, símbolos) pueden afectar cada etapa de la cadena de suministro de alimentos (segunda fila, azul oscuro), lo que provoca efectos agravantes y en cascada en el sistema alimentario (tercera fila, azul claro). Adaptado con permiso de Davis et al. 2021⁷².

Costos socioeconómicos del cambio climático en los sistemas alimentarios

Los riesgos para la seguridad alimentaria derivados del cambio climático imponen costos socioeconómicos que trabajadores, productores y consumidores pueden sentir, pero que pueden ser difíciles de medir (Capítulo 15; KM 19.1). Los impactos del cambio climático en la producción de alimentos se han medido de forma más exhaustiva que los impactos en el procesado, la distribución, la comercialización y el consumo de alimentos⁸³. Por ejemplo, el cambio climático está afectando los costos y las pérdidas de los seguros de cosechas^{84,85}. Entre 1991 y 2017, el aumento de la temperatura con el cambio climático fue responsable del 19 % de las indemnizaciones por cultivos en los EE. UU.⁸⁶.

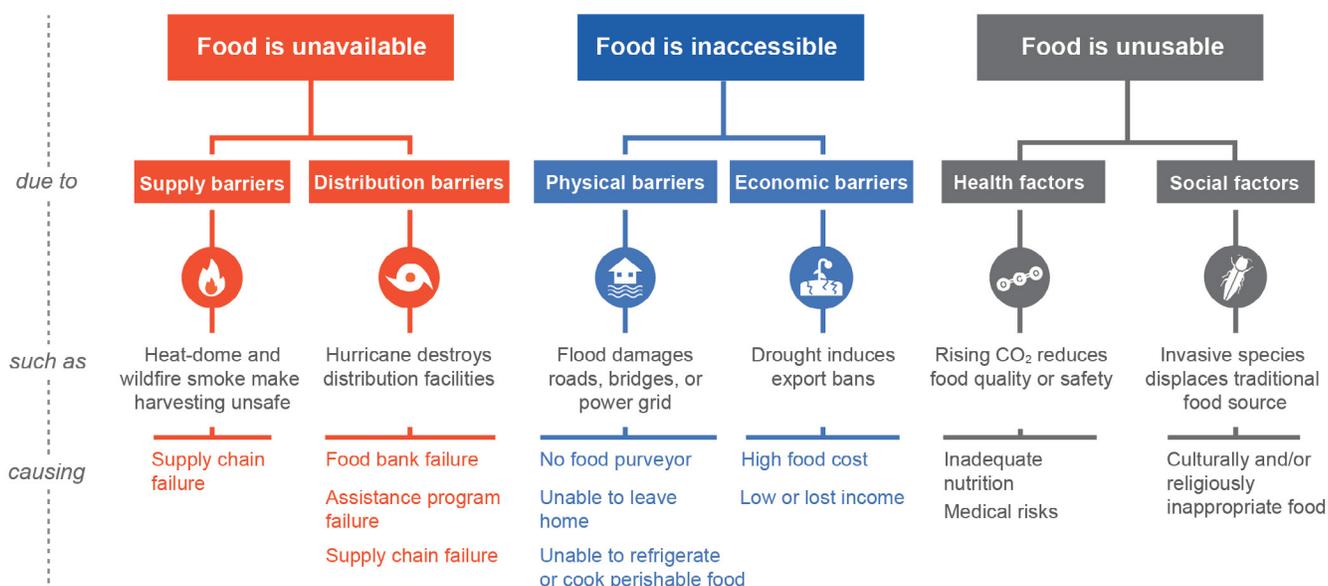
La productividad total de los factores (total factor productivity, TFP) es el tema central de varios estudios económicos sobre los efectos del cambio climático en la agricultura⁸⁷. Estados Unidos ha registrado un crecimiento constante de la TFP agrícola del 1.4 % anual desde 1948, debido en gran medida a las mejoras tecnológicas⁸⁸. Mientras que la TFP varía anualmente según los eventos meteorológicos extremos, el cambio climático ha frenado el crecimiento de la TFP en Estados Unidos en un 12 % durante un período de 54 años (1961-2015)⁸⁹. Se proyecta que la TFP agrícola vuelva a descender a los niveles anteriores a la década de los años 80 del siglo XX en 2050, a menos que los efectos positivos de la innovación y la adaptación en la agricultura estadounidense (después de contabilizar cualquier efecto negativo) puedan duplicarse en relación con las tasas históricas recientes⁸⁸. En el Medio Oeste, la mayor especialización en la producción de cultivos ha hecho que la TFP sea más sensible a las altas temperaturas estivales y a los déficits de humedad del suelo^{87,90}.

El aumento de la temperatura y la humedad también está afectando la productividad, los ingresos y la seguridad de los trabajadores agrícolas, por ejemplo, en los sistemas de cultivo de frutas y hortalizas que requieren mucha mano de obra (enfoque en el COVID-19 y cambio climático)^{91,92}. El estrés y las muertes

relacionadas con el calor son significativamente mayores entre los trabajadores agrícolas que entre todos los trabajadores civiles de los EE. UU., y se proyecta que el número de días de trabajo inseguro se duplique a mediados de siglo (Capítulo 15; Figura 28.7)^{93,94}. Estos efectos sobre la seguridad y la productividad de los trabajadores agrícolas influyen en la economía en general a través de la reducción de la producción agrícola y el aumento de los precios de los alimentos⁹⁵. Los trabajadores agrícolas también experimentan una inseguridad alimentaria desproporcionada^{2,96}, que puede verse agravada por los eventos extremos provocados por el cambio climático. Por ejemplo, la sequía reduce la demanda de mano de obra agrícola, con lo que disminuyen los ingresos de los trabajadores y su capacidad para comprar alimentos (Capítulo 28)⁹⁷.

Para 2050, se proyecta que el cambio climático aumente los precios de algunos cultivos (consulte la Tabla 2 de Baker *et al.* 2018⁹⁸). Por ejemplo, para el maíz se prevé un aumento de precios del 26 % debido a una reducción de la producción del 5.5 %, mientras que para la soja se prevé un aumento de precios del 30 % debido a una reducción de la producción del 19 % (en relación con un escenario de referencia sin cambio climático y promediado en nueve escenarios de cambio climático que van desde un escenario bajo [RCP2.6] hasta un escenario ligeramente alto a un escenario muy alto [RCP8.5]). En el caso del trigo, se espera un aumento de precios del 26 %, debido a una reducción de la producción del 36 % y en el del arroz, del 3.1 %, debido a una reducción de la producción del 61 %. El aumento de los precios depende de las complejas interacciones entre el cambio climático, el comercio internacional y las instituciones y políticas nacionales⁸⁰, pero en general benefician a los productores y perjudican a los consumidores (KM 19.2, 22.3)⁹⁹, especialmente si los ingresos de los consumidores no pueden seguir el ritmo del aumento de los precios de los alimentos. En estos casos, el aumento de los precios de los alimentos puede reducir su accesibilidad (Figuras 11.10, 11.11).

Ejemplos de fallos del sistema alimentario debido al cambio climático



Se prevé que el cambio climático aumente los riesgos para la seguridad alimentaria de múltiples maneras.

Figura 11.11. Este árbol de fallos muestra algunas de las muchas maneras en que pueden producirse fallos en el sistema alimentario debido al cambio climático, lo que en última instancia hace que los alimentos sean menos accesibles o utilizables o estén menos disponibles. En algunos casos, los alimentos pueden seguir estando disponibles pero ser inaccesibles o inutilizables. Por ejemplo, los cortes de electricidad durante episodios de calor extremo o después de un huracán pueden impedir que algunos consumidores refrigeren o cocinen con seguridad los alimentos perecederos que ya han comprado. Adaptado de Chodur *et al.* (2018)¹⁰⁰ [CC BY 4.0].

Los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria se distribuyen de forma desigual

El cambio climático interactúa con la seguridad alimentaria y la salud humana (KM 15.1; Figuras 11.9, 11.10, 23.4). Aproximadamente 38 millones de personas en Estados Unidos viven en hogares con inseguridad alimentaria¹. La inseguridad alimentaria está asociada a unos ingresos más bajos y afecta tanto la calidad como la cantidad y la estabilidad de la dieta¹. Las alteraciones del sistema alimentario durante eventos extremos cada vez más frecuentes y severos debido al cambio climático afectarán de manera desproporcionada la accesibilidad a los alimentos, la nutrición y la salud de algunos grupos, como las mujeres, los niños, los adultos mayores y las comunidades de escasos recursos (KM 15.2, 22.4, 28.4)^{101,102}.

Por ejemplo, si el cambio climático reduce la asequibilidad de algunos alimentos nutritivos⁹⁸, los hogares podrían depender más de dietas densas en calorías pero pobres en nutrientes, lo que aumentaría los riesgos para la salud y los costos de atención médica^{103,104,105}. Algunos adultos mayores que disponen de medios de transporte o recursos económicos limitados se enfrentan a complejos retos y concesiones mutuas cuando intentan acceder, almacenar y cocinar de forma segura cantidades adecuadas de alimentos nutritivos, especialmente durante y después de eventos extremos (p. ej., inundaciones que cierran carreteras o tiendas; KM 11.3)^{106,107}.

El cambio climático también está afectando la capacidad de las personas y las comunidades para obtener alimentos a través de la caza, la pesca, la búsqueda de alimentos y la agricultura de subsistencia (KM 16.1, 22.1, 25.3, 27.1, 30.1)¹⁰⁸. Personas de diversos orígenes socioeconómicos y culturales, incluidas algunas de comunidades indígenas y zonas rurales, participan en estas actividades por diversas razones, como tradiciones culturales o espirituales, prácticas medicinales y disfrute recreativo o para diversificar los tipos de alimentos o su valor nutricional o reducir los alimentos comprados^{109,110}.

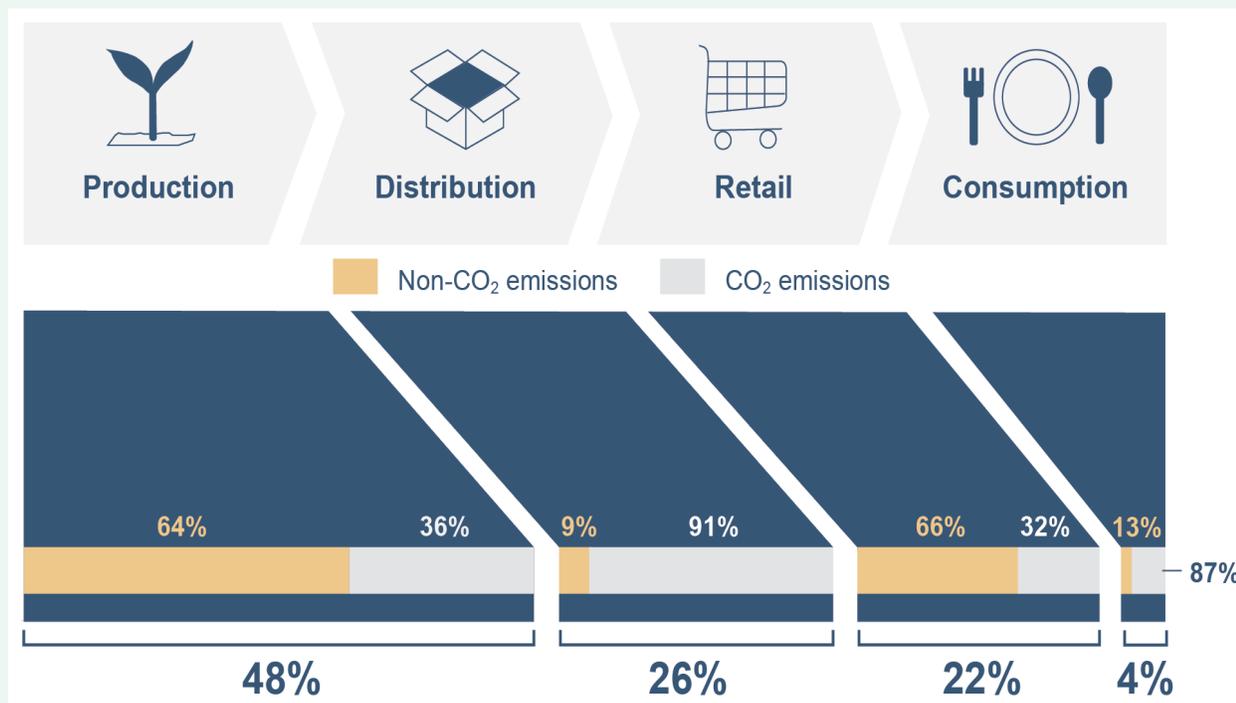
Las personas que viven de la subsistencia y buscan alimentos (como arroz salvaje, frijoles y setas) pueden enfrentarse a desafíos específicos derivados del cambio climático (KM 16.1, 24.2)¹¹¹. La sequía puede reducir la disponibilidad de alimentos procedentes de los bosques, como bayas, nueces y semillas. En Alaska, donde la caza y la pesca de subsistencia están muy extendidas entre los pueblos indígenas, la disminución del hielo marino hace que los desplazamientos a los lugares tradicionales de caza, pesca y marisqueo sean más largos y peligrosos (Capítulo 29). Los cambios en los ecosistemas reducen la abundancia de especies importantes y alteran sus áreas de distribución, lo que hace más difícil para las personas prever la ubicación de esas especies (KM 29.3)¹¹¹.

Los productores de alimentos de subsistencia también pueden ser más vulnerables a los efectos del cambio climático debido al menor tamaño de las granjas, a la inseguridad en la tenencia de la tierra, a la menor capitalización y a otros factores de estrés no climáticos (p. ej., un menor acceso a los mercados)^{112,113}. Sin embargo, algunas comunidades están liderando de forma proactiva proyectos de seguridad alimentaria para ayudar a adaptarse al cambio climático y mitigarlo (Recuadro 30.4). Un ejemplo es el huerto comunitario de la Nación Osage, basado en el conocimiento ecológico tribal, diseñado teniendo en cuenta la salud de la comunidad y que proporciona frutas, nueces y bayas nutritivas a sus miembros¹¹⁴. En el mensaje clave 25.5 y en el Recuadro 29.6 se describen otros ejemplos de adaptación tribal al cambio climático.

Recuadro 11.2. Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema alimentario

La mayor parte de los alimentos consumidos en Estados Unidos son de producción nacional, principalmente en el Medio Oeste (KM 24,1) y California (KM 28,3)^{115,116,117}. La producción de alimentos es la mayor fuente de emisiones de GHG del sistema alimentario, seguida de la distribución, la venta al por menor y el consumo (Figura 11.12). Del total de la cadena de suministro de alimentos (enfoque en riesgos de las cadenas de suministro), se calcula que entre el 30 % y el 40 % de los alimentos se descomponen o se desperdician, sobre todo en la fase de consumo (p. ej., hogares y restaurantes)^{118,119,120}. Cuanto más lejos en la cadena de suministro se produce el desperdicio de alimentos, más energía y emisiones de GHG se han invertido. Reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos reduciría las emisiones de GHG del sistema alimentario y ofrecería oportunidades para aumentar la seguridad alimentaria (KM 6.3, 32.2; Tabla 31.1)¹²⁰.

Emisiones de gases de efecto invernadero por fases de la cadena de suministro de alimentos



Las emisiones de gases de efecto invernadero difieren según la fase de la cadena de suministro de alimentos.

Figura 11.12. Las emisiones de gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG) se producen en todas las fases de la cadena de suministro de alimentos. La producción (es decir, el crecimiento y la cosecha de los cultivos y la cría y el sacrificio del ganado) representa el 48 % de las emisiones globales de GHG de la cadena de suministro de alimentos. Dióxido no carbónico (distintos del CO₂) proceden en gran medida de las emisiones de óxido nítrico procedentes de los fertilizantes nitrogenados y de la gestión del estiércol, así como de las emisiones de metano procedentes de la producción ganadera en la fase de producción, junto con las emisiones de clorofluorocarburos en la fase de venta al por menor. Las emisiones de dióxido de carbono en la fase de producción primaria de alimentos proceden de la gestión del suelo y del uso de la tierra, de la producción de fertilizantes y del uso de energía agrícola. El consumo de energía es la principal fuente de emisiones de CO₂ en las fases de la cadena de suministro posteriores a la producción de alimentos. Adaptado de EPA (2021)¹¹⁹.

Mensaje clave 11.3

Las comunidades rurales afrontan desafíos y oportunidades únicos

Las comunidades rurales administran gran parte de la tierra y los recursos naturales del país, que proporcionan alimentos, bioproductos y servicios ecosistémicos (*confianza alta*). Estas funciones cruciales corren peligro a medida que el cambio climático agrava los factores de estrés existentes como la pobreza, el desempleo y la despoblación (*probable, confianza media*). Existen oportunidades para que las comunidades rurales aumenten su resiliencia ante el cambio climático y protejan los medios de subsistencia rurales (*confianza alta*).

Las zonas rurales (no metropolitanas) representan más de dos tercios de la superficie total del país¹²¹ y en ellas viven aproximadamente 46.1 millones de personas, es decir, el 14 % de la población total de los EE. UU., incluida la mayoría de los indígenas censados. Las comunidades rurales representan un modo de vida con activos medioambientales, patrimonios culturales e identidades locales únicos. Las poblaciones rurales son guardianas de bosques, cuencas hidrográficas, pastizales, tierras de cultivo y pesquerías, y contribuyen de forma significativa a la conservación de los recursos naturales y a que la sociedad se beneficie y disfrute de algunos servicios ecosistémicos. Las comunidades rurales de estos diversos contextos apoyan la sostenibilidad económica nacional y la seguridad alimentaria.

Riesgos del cambio climático en las zonas rurales de América

Las amenazas climáticas agravan los riesgos planteados por tendencias estructurales como la dependencia de bienes producidos fuera del área local, la digitalización de la vida económica y social y el cambio demográfico, que pueden reducir la resiliencia y la calidad de vida rural¹²². Las presiones presupuestarias durante y después de los desastres relacionados con el clima pueden reducir la capacidad de los gobiernos locales para proporcionar infraestructuras, bienes y servicios críticos (KM 19.2), especialmente en zonas con escasos recursos (Capítulo 19; KM 22.1), indígena (Capítulo 16; KM 25.4) y otras comunidades históricamente sobrecargadas (Capítulo 20)^{123,124,125}. La creciente frecuencia y severidad de los desastres climáticos y los efectos agravantes y en cascada del cambio climático suponen grandes desafíos económicos para los gobiernos locales y las comunidades rurales (KM 2.2)^{126,127}, aunque históricamente se ha carecido de métricas que reflejen la complejidad de estos desafíos y sus disparidades espaciales.

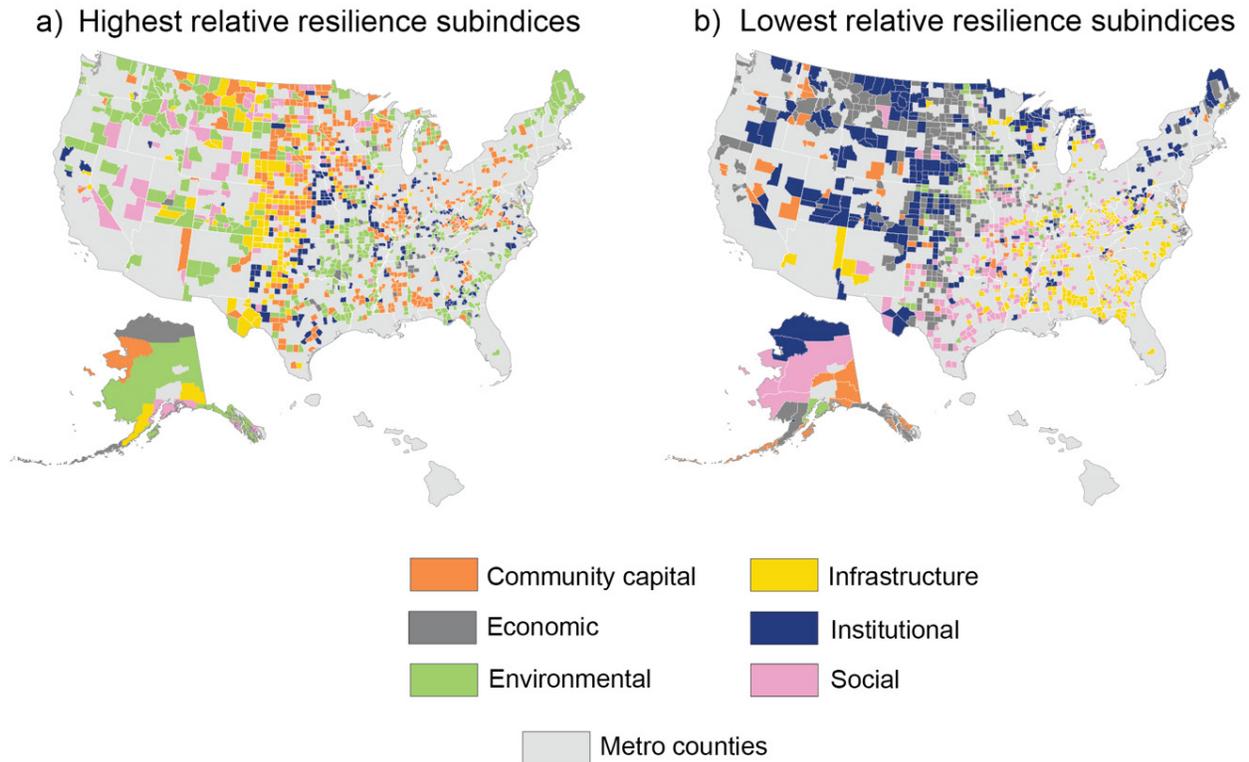
En los años recientes se han producido avances significativos en las capacidades analíticas para identificar la variación del riesgo según la influencia de una amplia gama de factores sociales (Capítulo 20), económicos (KM 22.3) y ecológicos (KM 24.5; Capítulo 31). Las medidas que captan la capacidad de una comunidad para prepararse, adaptarse y recuperarse de una alteración o desastre indican un riesgo mayor para las comunidades rurales que el que puede cuantificarse en términos de pérdidas anuales previstas debido únicamente a peligros naturales¹²⁸. Esto sugiere que es necesario tener en cuenta una perspectiva amplia del riesgo rural al priorizar y apoyar los esfuerzos de resiliencia.

Resiliencia de las comunidades rurales

Existe una considerable variabilidad espacial en las fuentes sociales, de infraestructuras, institucionales, económicas, medioambientales y comunitarias de resiliencia en las zonas rurales (Figura 11.14). Sin embargo, la mayoría de las comunidades rurales ocupan los puestos más bajos en resiliencia económica y los más altos en resiliencia medioambiental (Figura 11.13). La resiliencia engloba la capacidad de anticiparse, prepararse, adaptarse, resistir y recuperarse de alteraciones como el cambio climático. Las comunidades rurales tienen fuentes y obstáculos únicos para la resiliencia (Figura 11.14)¹²³. La resiliencia se ve obstaculizada en comunidades con instituciones económicas y sociales debilitadas¹²⁹. Muchas zonas rurales luchan por

mantener servicios públicos efectivos, la sostenibilidad económica y una base social sólida. Las tendencias demográficas y socioeconómicas, como la pérdida de población y la persistencia de la pobreza, limitan la resiliencia social y económica en algunas zonas rurales. Estas comunidades carecen de la capacidad o de los recursos necesarios para la recuperación ante eventos naturales peligrosos (KM 22.1; Recuadro 25.1). La falta de acceso a la tecnología y la falta de capacidad institucional, por ejemplo debido a la escasez de recursos financieros y humanos, pueden agravar los efectos de los desastres naturales¹³⁰. Las desigualdades históricas en materia de justicia medioambiental (Figura 20.1), a menudo, subyacen y añaden complejidad a la resiliencia de las comunidades rurales ante el cambio climático (Capítulo 20; KM 15.2, 16.2, 26.4, 27.1, 31.2). Las comunidades rurales que se caracterizan por el sentido de comunidad, la autosuficiencia y el conocimiento tácito del entorno natural tienen una mayor capacidad de resiliencia (p. ej., Recuadro 30.6).

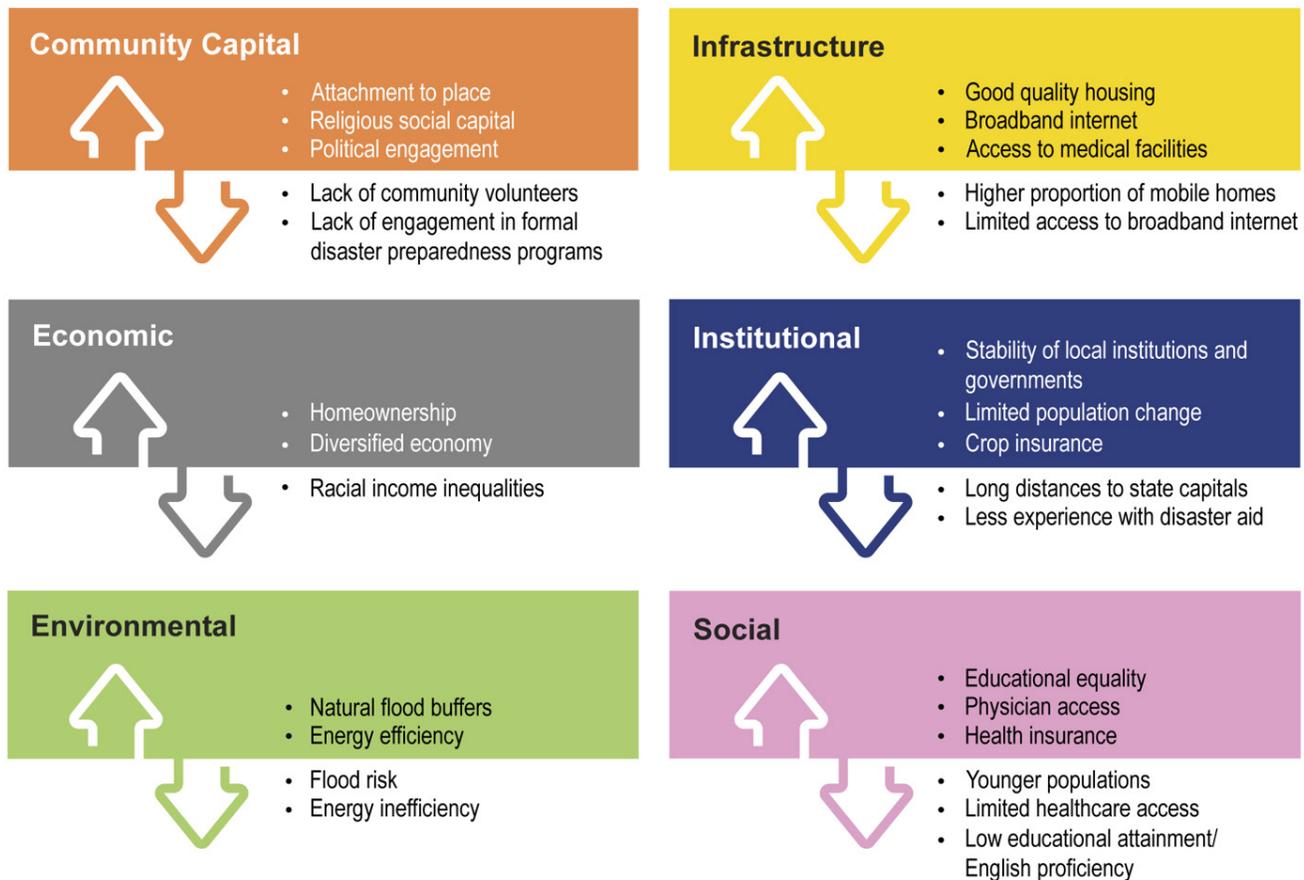
Índice de resiliencia de la comunidad



Las comunidades rurales difieren en las categorías de los Indicadores Básicos de Resiliencia que más contribuyen a su resiliencia.

Figura 11.13. Seis grandes categorías (social, económica, capital comunitario, institucional, infraestructura y medioambiental) constituyen los Indicadores Básicos de Resiliencia de las Comunidades (Baseline Resilience Indicators for Communities, BRIC; consulte la Figura 11.14)¹³¹. La categoría relativa más alta (a) y la más baja (b) de resiliencia para las comunidades dentro de los condados no metropolitanos se muestra por condado. Existe una considerable variabilidad espacial en cada categoría de resiliencia comunitaria. El Caribe estadounidense y las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU. no están representadas en el mapa por falta de datos. En los Capítulos 23 y 30 se analizan las vulnerabilidades de resiliencia de estas zonas. Créditos de la figura: USDA, NOAA NCEI y CISESS NC.

Indicadores Básicos de Resiliencia de las Comunidades



La resiliencia de las comunidades rurales ante los peligros naturales se mide mediante varias categorías generales de indicadores que afectan aspectos de la resiliencia (tanto positiva como negativamente).

Figura 11.14. El índice de Indicadores Básicos de Resiliencia de las Comunidades (Baseline Resilience Indicators for Communities, BRIC) es una medida compuesta de la resiliencia de las comunidades ante los peligros naturales. Considera 49 indicadores de atributos existentes de resiliencia ordenados en seis grandes categorías: capital social, de infraestructura, institucional, medioambiental, económico y comunitario. Puede utilizarse para comparar la resiliencia comunitaria de un condado con la de otro (consulte, por ejemplo, la Figura 11.13). Para cada categoría se indican los factores positivos y negativos de la resiliencia de los condados rurales. Créditos de la figura: USDA.

La dependencia económica de economías monosectoriales o basadas en los recursos, como suele ocurrir en las zonas rurales, limita aún más la resiliencia (KM 22.3, 25.3)¹²². Muchos empleos rurales se basan en la extracción de recursos y dependen de recursos naturales que están expuestos a un mayor riesgo de alteración por amenazas climáticas (p. ej., los efectos del aumento de la temperatura de los océanos en la industria pesquera y los efectos de la sequía en la agricultura). Las comunidades pesqueras rurales de Alaska constituyen un ejemplo conmovedor de cómo los impactos climáticos agravan la pobreza persistente, el aislamiento geográfico, la falta de diversidad económica y la dependencia de los recursos (KM 29.3). Una ola de calor marino sin precedentes por su intensidad y duración azotó el Golfo de Alaska entre 2014 y 2016, y ocasionó 18 declaraciones de desastre en la industria pesquera en la región (Capítulo 29)^{132,133,134}. El cambio climático está alterando enormemente las condiciones de acceso y distribución de la pesca con colapsos cada vez mayores que están dejando a los pescadores luchando por las pocas oportunidades de ingresos alternativos o asumiendo mayores riesgos para capturar menos peces y de menor tamaño (KM 10.2)^{135,136}.

Aunque las comunidades rurales se enfrentan a desafíos, también están contribuyendo positivamente a mejorar la resiliencia climática y a mitigar el cambio climático mediante la producción de energías renovables (KM 5.3). Se necesitan enfoques participativos para garantizar que estos esfuerzos sean equitativos y respondan a las necesidades de la comunidad. Después de que un desastre natural destruyera la ciudad de Greensburg (Kansas), la comunidad utilizó un enfoque participativo que incluía múltiples rondas de reuniones públicas para involucrar a los ciudadanos en la planificación de un proceso de reconstrucción sostenible e inteligente que toma en cuenta el clima. El énfasis en los materiales ecológicos y los edificios públicos con certificación Platino de Liderazgo en Energía y Diseño Medioambiental permitió a la comunidad reconstruir y obtener el 100 % de la energía necesaria para abastecer a la comunidad mediante energía eólica. Las comunidades rurales pueden contribuir a una economía emergente de energía limpia, incluso mediante biocombustibles avanzados¹³⁷ y los sistemas agrivoltaicos que utilizan simultáneamente la tierra para la agricultura y la producción de energía fotovoltaica (Capítulos 5, 6). Las fuentes de energía alternativas tienen potencial para cubrir una parte significativa de las necesidades energéticas de los EE. UU., al tiempo que reducen las emisiones y crean más puestos de trabajo y oportunidades económicas en las zonas rurales¹³⁸.

Cuentas trazables

Descripción del proceso

El líder del capítulo con el aporte del autor principal de coordinación y del autor principal del capítulo de la agencia reclutaron al equipo de autores exclusivamente de agencias federales, de acuerdo con la decisión del Comité Directivo Federal (Federal Steering Committee, FSC) de la Evaluación Nacional del Clima (National Climate Assessment, NCA). El equipo de autores fue seleccionado por su experiencia en los impactos del cambio climático en la agricultura, la seguridad alimentaria y las comunidades rurales, con especial atención a la diversidad en cuanto a conocimientos de investigación, experiencia profesional y género. El equipo de autores incluyó científicos agrícolas, físicos y sociales. Algunos participaron en evaluaciones anteriores. El equipo de autores se reunió semanalmente para elaborar y revisar los borradores a lo largo del proceso de redacción. Cuando se produjeron desacuerdos sobre el contenido, la redacción o las cifras, se analizó entre el equipo de autores hasta que todo el equipo llegó a un consenso.

Dado que este capítulo abarca un amplio rango de temas, el equipo de autores consideró y analizó un amplio abanico de asuntos y temas importantes. Los mensajes clave y los tópicos dentro de cada tema se seleccionaron después de discusiones semanales entre los autores; una revisión de la literatura pertinente por parte del equipo de estos; la revisión de la Cuarta Evaluación Nacional del Clima y otros informes gubernamentales relacionados con el cambio climático y la agricultura, los sistemas alimentarios y las comunidades rurales; sesiones de escucha organizadas por el Programa de Investigación del Cambio Global de Estados Unidos; comentarios sobre el Borrador Cero de la Resolución por parte del FSC y el público; y comentarios proporcionados por los revisores sobre borradores posteriores. El 28 de enero de 2022 se celebró un taller de participación pública en el que los asistentes tuvieron la oportunidad de dar su opinión sobre los mensajes clave y los temas propuestos. Basándose en estas deliberaciones y en los comentarios del público, el equipo de autores decidió 1) dar prioridad a los asuntos de justicia, equidad, diversidad e inclusión, y reflejar las metas declaradas de la Quinta Evaluación Nacional del Clima (Fifth National Climate Assessment, NCA5); 2) centrarse en todo el sistema alimentario y no solo en la granja o detrás de ella; y 3) reflejar el creciente interés de la sociedad por un conjunto ampliado de resultados agrícolas más allá de la productividad agrícola.

La decisión de incluir los sistemas alimentarios como tema clave fue impulsada, en parte, por la decisión del FSC de añadir “Sistemas alimentarios” al título del capítulo de la NCA5. Los autores del capítulo reconocieron que el sistema alimentario estadounidense está conformado por muchos factores, además de la producción agrícola en las granjas. El clima y los eventos meteorológicos impactan el transporte de alimentos, los lugares de procesamiento y los flujos e intensidades de residuos. La producción agrícola también se ve afectada por las cadenas de valor ascendentes que influyen en la producción de las granjas. Por ello, se adoptó un enfoque más holístico para comprender el clima y sus cambios.

A lo largo del desarrollo de los capítulos, los líderes de estos se reunieron periódicamente con los líderes de otros capítulos relevantes para debatir sobre asuntos transversales y la mejor manera de incorporarlas entre los capítulos.

Mensaje clave 11.1

La adaptación agrícola aumenta la resiliencia en un paisaje en evolución

Descripción de la base de evidencia

Producción agrícola en peligro

Una amplia literatura revisada por expertos ha demostrado que el cambio climático está retrasando la productividad agrícola y aumentando la vulnerabilidad de la agricultura^{84,89,139}. Múltiples evaluaciones han cuantificado que el aumento de las temperaturas del aire ha alargado la temporada de cultivo en los EE. UU. contiguos en dos semanas, aproximadamente⁷. Se proyecta que el aumento de las temperaturas provoque una mayor volatilidad meteorológica, una mayor frecuencia o severidad de los eventos extremos (sequías, daños por heladas o inundaciones) y una mayor incidencia de plagas/enfermedades, todo lo cual altera el crecimiento de los cultivos y el ganado, así como la sincronización y la efectividad de las operaciones de gestión agrícola.

Adopción de prácticas agroecológicas

Un número creciente de estudios agrícolas señalan que las prácticas agroecológicas pueden mantener la productividad agrícola al tiempo que promueven una gama más amplia de servicios ecosistémicos^{13,32,140,141}. Una encuesta reciente entre agricultores de los EE. UU. mostró un mayor índice de adopción voluntaria de prácticas de conservación basadas en la agroecología en los últimos 10 años¹⁴². Aunque el capítulo no analiza por qué los productores estadounidenses adoptan, mantienen o revierten las prácticas, la investigación muestra consistentemente correlaciones positivas entre la adopción de prácticas agroecológicas por parte de los productores y las actitudes medioambientales, el nivel de educación formal y el conocimiento de un programa/práctica^{143,144,145,146}.

Emisiones de gases de efecto invernadero

La evaluación de la contribución de la agricultura a las emisiones de gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG) nacionales se basó en inventarios y estimaciones de la EPA⁴⁹ y se complementó con datos de otras fuentes federales, así como de numerosos estudios académicos. Los cálculos de las emisiones globales de GHG estimadas del sector agrícola entre estas diversas fuentes fueron exhaustivos y concordaron bien.

Mitigación a través de la gestión agroecológica

Cada vez hay más evidencia de que la adopción de prácticas de gestión agroecológica y los avances tecnológicos pueden mitigar las emisiones de GHG de la agricultura. El almacenamiento de carbono en el suelo puede incrementarse con la siembra directa y la diversificación de los sistemas de producción (p. ej., una mayor complejidad en la rotación de cultivos, la perennización mediante más tierras de pastoreo o la agrosilvicultura)^{147,148}. Las emisiones de óxido nitroso y metano pueden reducirse mejorando las prácticas de gestión (p. ej., la eficiencia en el uso de fertilizantes, el uso del agua, el pastoreo y la alimentación animal)^{39,149,150}. Además de aumentar la probabilidad de mitigación de GHG, se proyecta que la implementación de estas estrategias clave reduzca la dependencia de insumos exógenos, proteja el medio ambiente y mejore la resiliencia de los agroecosistemas ante los cambios climáticos^{151,152,153,154}.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Aunque se conocen los impactos del cambio climático en la producción agrícola y ganadera^{88,155}, los efectos futuros a escalas agrícola, regional y nacional son inciertos, dada la variedad de estrategias de adaptación que pueden desplegarse. Además, la forma en que estas estrategias de adaptación interactuarán en paisajes espacial y temporalmente muy variables (es decir, suelos, condiciones meteorológicas y topografía) aumenta la incertidumbre sobre la efectividad de las estrategias.

Reducir las emisiones de GHG del suelo (dióxido de carbono [CO₂] y óxido nitroso) sigue siendo un desafío porque se espera que las mayores demandas de producción requieran labranza en algunos entornos de producción y mayores aportes de fertilizantes para estimular el crecimiento. Una de las principales brechas de la investigación consiste en determinar si es posible generalizar las prácticas para reducir las emisiones y con qué rapidez. También existe una incertidumbre considerable en cuanto a la capacidad de los suelos para aumentar el almacenamiento de carbono, dados los numerosos factores que interactúan entre la gestión, las condiciones meteorológicas y las propiedades del paisaje. La mejora de las fórmulas de las dietas ganaderas y la integración del ganado en los sistemas de cultivo podrían reducir considerablemente las emisiones de GHG, pero aún no se han resuelto los problemas de escala.

La producción de cultivos podría ser más resiliente ante los cambios climáticos si los suelos fueran más sanos que en la actualidad, pero aún se desconoce la velocidad a la que es posible una transformación de este tipo utilizando un enfoque agroecológico^{156,157}. La disponibilidad futura de agua tiene un gran impacto en la salud del suelo y pronosticarla será todo un desafío.

Descripción de confianza y probabilidad

La confianza es *muy alta* y es *muy probable* que las zonas y los días de cultivo estén cambiando. La evidencia histórica procedente de una red meteorológica distribuida por todo el país y de estudios independientes de medición y modelación documentan consistentemente un aumento de las temperaturas promedio anuales del aire, un incremento de las temperaturas nocturnas y una mayor variabilidad de los períodos sin heladas. El conjunto de evidencia indica una migración general de las zonas y los días de cultivo hacia latitudes septentrionales y altitudes más elevadas.

La confianza es *muy alta* para una mayor adopción de prácticas agroecológicas por parte de los productores. Las declaraciones sobre el aumento de la adopción de prácticas de conservación basadas en la agroecología están respaldadas por evidencia de que la productividad agrícola puede mantenerse o aumentar al tiempo que se mejoran los resultados medioambientales.

La confianza es *media* y es *probable* que las estrategias agrícolas de mitigación reduzcan significativamente las emisiones totales de GHG, ya que existe una importante variabilidad espacial y temporal en los suelos, las condiciones meteorológicas y el tipo/sincronización de las prácticas. La literatura sobre medidas y modelos respalda las afirmaciones de que los enfoques agroecológicos pueden aumentar el carbono del suelo y de que mejorar la eficiencia mitigará las emisiones de GHG.

La confianza es *alta* en que la resiliencia de la agricultura puede mejorarse en respuesta al cambio climático. Cada vez hay más evidencia que demuestra que una mayor gestión y nuevas oportunidades económicas (es decir, mercados de carbono o reparto de costos de programas de conservación) pueden conferir una mayor resiliencia a través de la mejora de la salud del suelo y la eficiencia en el uso de los recursos de insumos externos.

Mensaje clave 11.2

El cambio climático altera nuestros sistemas alimentarios de forma desigual

Descripción de la base de evidencia

Resiliencia del sistema alimentario

Gran parte de la investigación sobre los impactos del cambio climático en los sistemas alimentarios estadounidenses, incluida la investigación económica, se centra más en la producción agrícola y menos en la transformación, la distribución, la comercialización y el consumo de alimentos^{72,83,158}. La literatura ofrece algunos ejemplos cualitativos de impactos en estos otros sectores (p. ej., Chodur *et al.* 2018¹⁰⁰; Reardon y Zilberman 2018⁸³), pero el alcance es limitado y las estimaciones cuantitativas son escasas.

Costos socioeconómicos del cambio climático en la producción de alimentos

Existe una literatura más amplia sobre los impactos económicos del cambio climático en la producción agrícola. Los economistas se han centrado especialmente en los impactos sobre la productividad total de los factores (total factor productivity, TFP) de la agricultura, que es la relación entre la producción agrícola y la cantidad de insumos utilizados^{87,88,89}. Esta literatura es mayoritariamente consistente para describir el impacto negativo y la magnitud general de los efectos del cambio climático sobre la TFP agrícola de los EE. UU. Los métodos están bien establecidos y se basan en análisis económicos más amplios de los impactos del cambio climático en la productividad de economías enteras (no solo en la agricultura; p. ej., Letta y Tol 2019¹⁵⁹).

También abunda la investigación económica sobre el cambio climático y el comercio internacional de productos agrícolas^{80,160}. Este tema no se trata en profundidad aquí, sin embargo puede resumirse así 1) cómo los cambios climáticos de la producción agrícola de todo el mundo afectan la agricultura estadounidense a través del comercio internacional⁹⁸; y 2) cómo el comercio interestatal ayuda a amortiguar los impactos económicos del cambio climático en la agricultura de los EE. UU.⁷⁹.

Implicaciones del cambio climático en el precio de los alimentos

La teoría económica básica sobre la oferta, la demanda y los precios indica que una reducción del rendimiento agrícola debido al cambio climático, y las consiguientes reducciones de la oferta de un producto alimentario asociado (manteniendo todo lo demás constante), deberían aumentar el precio de ese producto. En realidad, las complejidades surgen porque no todo lo demás se mantiene constante. Por ejemplo, cuando el rendimiento del trigo en las llanuras centrales de los EE. UU. se ve afectado negativamente por la sequía, el comercio entre estados y naciones amortigua el impacto sobre los precios del trigo. Al mismo tiempo, los ingresos de los consumidores y sus gustos por el trigo frente a bienes sustitutivos y complementarios también podrían cambiar por razones totalmente distintas, lo que dificulta aislar cuantitativamente los efectos del cambio climático en los precios del trigo.

Debido a la complejidad de los mercados de productos agrícolas y alimentarios, son relativamente pocos los estudios económicos que han estimado los efectos del cambio climático sobre los precios de múltiples productos agrícolas y alimentarios a escalas nacional o internacional. Los pocos estudios que lo han hecho (p. ej., Baker *et al.* 2018⁹⁸; Beach *et al.* 2015⁹⁹) llegaron a conclusiones similares sobre la dirección de los impactos y, en general, son consistentes con la teoría económica (es decir, cuando la oferta disminuye, manteniendo la demanda constante, el precio debería aumentar). Resulta más difícil evaluar la exactitud de la magnitud de sus estimaciones de variación de precios.

Los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria se distribuyen de forma desigual

Los impactos del aumento de la temperatura del aire sobre la seguridad y la productividad de los trabajadores al aire libre son bien conocidos (Capítulos 3, 15)⁹². Varios estudios coinciden en que los trabajadores al aire libre, incluidos los trabajadores agrícolas, estarán expuestos a un mayor estrés térmico en el futuro debido al cambio climático. La inseguridad alimentaria desproporcionada entre los trabajadores agrícolas en los EE. UU. también está bien documentada en la literatura, con resultados consistentes^{2,96}.

Los impactos del cambio climático en las actividades domésticas de obtención de alimentos, como la caza, la pesca, la búsqueda de alimentos y la agricultura de subsistencia, están bien documentados en la literatura¹¹⁰. En cuanto a los impactos para los pueblos indígenas, Norton-Smith *et al.* (2016)¹¹¹ revisó la literatura sobre este tema y encontró abundantes ejemplos y acuerdo entre los estudios; más recientemente, STACCCWG (2021)¹⁶¹ proporciona numerosos ejemplos directamente de tribus y pueblos tribales.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Costos socioeconómicos del cambio climático en la producción de alimentos

El papel del comercio interestatal en la atenuación de los impactos del cambio climático se ha estudiado menos que el del comercio internacional, pero Dall'Erba *et al.* (2021)⁷⁹ constituye un ejemplo revisado por expertos de este nuevo conjunto de publicaciones.

Implicaciones del cambio climático en el precio de los alimentos

Las principales fuentes de incertidumbre en la modelación económica de los impactos del cambio climático en el rendimiento y los precios de los cultivos se derivan de las suposiciones sobre 1) elección de los modelos climáticos; 2) amplitud de los impactos del CO₂; 3) cambio de uso de la tierra y agregación de rendimientos; 4) esfuerzos de mitigación de GHG; y 5) condiciones socioeconómicas futuras¹⁶².

Los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria se distribuyen de forma desigual

En los estudios sobre la exposición de los trabajadores del sistema alimentario a los impactos del cambio climático, las fuentes de incertidumbre incluyen el subregistro del estrés relacionado con el calor entre los trabajadores indocumentados; la variabilidad de los factores de riesgo individuales, del lugar de trabajo y de la comunidad; y los cambios futuros en la ubicación de los cultivos y la mano de obra necesaria⁹⁴. También hay relativamente pocos estudios que documenten o proyecten cómo afecta el cambio climático la inseguridad alimentaria entre los trabajadores agrícolas u otros grupos desproporcionadamente afectados, como las mujeres, los niños y los adultos mayores.

Descripción de confianza y probabilidad

La afirmación sobre el impacto del cambio climático en la asequibilidad de los alimentos nutritivos se basa en un número relativamente pequeño de estudios sobre la TFP agrícola estadounidense, pero estos llegaron a conclusiones consistentes sobre la dirección y la magnitud del impacto. Las conclusiones también son consistentes con investigaciones más amplias sobre los efectos separados del cambio climático en los rendimientos (o producción) y el uso de insumos. Por lo tanto, la confianza es *media* con un nivel de posibilidad *probable*.

La afirmación sobre la magnitud de los impactos cuantitativos en los precios de los alimentos se basa en un pequeño número de estudios contemporáneos con muchas fuentes de incertidumbre en la modelación de los complejos mercados nacionales e internacionales de productos agrícolas y alimentarios. Sin embargo, las afirmaciones sobre la dirección o el signo de los impactos estimados sobre los precios de los alimentos, suponiendo que el cambio climático disminuya la oferta de algunos productos agrícolas o alimentarios, son consistentes con la teoría económica. Además, numerosos estudios han constatado sistemáticamente que los aumentos del precio de los alimentos tienen impactos económicos desiguales en toda la sociedad, con

niveles razonables de incertidumbre¹⁶³. Por lo tanto, la confianza general sobre la dirección o el signo del cambio en la asequibilidad de los alimentos, con los consiguientes impactos desiguales en toda la sociedad, es *media*.

La afirmación sobre el empeoramiento de la exposición de los trabajadores agrícolas al estrés térmico se basa en numerosos estudios con resultados consistentes y niveles razonables de incertidumbre. La confianza es *alta*.

La afirmación sobre el empeoramiento de la capacidad de obtener alimentos mediante la caza, la pesca y la búsqueda de alimentos se basa en numerosos estudios con resultados consistentes y niveles razonables de incertidumbre. La confianza es *alta*.

Mensaje clave 11.3

Las comunidades rurales afrontan desafíos y oportunidades únicos

Descripción de la base de evidencia

Amplia evidencia respalda la importancia de la agricultura como motor de la economía rural y de los sistemas sociales^{164,165}. Los esfuerzos para conservar los recursos naturales de los que dependen las comunidades rurales, no solo para la agricultura sino también para otras industrias basadas en servicios naturales (p. ej., la recreación y el destino de jubilación), están bien documentados^{166,167}. Numerosos estudios documentan los desafíos a los que se enfrentan las comunidades rurales para mantener su modo de vida. Entre los desafíos se encuentran la disminución y el envejecimiento de la población, los limitados recursos disponibles para la educación y el desarrollo de la mano de obra, el acceso limitado al capital, las necesidades de infraestructura, el acceso limitado a los servicios de atención médica y la preservación del uso de la tierra^{168,169,170,171,172,173}. Además, muchas comunidades rurales tienen altas concentraciones de poblaciones socialmente vulnerables e históricamente desatendidas. Cada vez hay más estudios que demuestran que estas poblaciones corren un riesgo desproporcionado de sufrir los impactos del cambio climático, lo que puede agravar aún más los problemas existentes^{83,101,123,174,175,176,177}.

Los índices de resiliencia comunitaria (p. ej., los Indicadores Básicos de Resiliencia de las Comunidades) y las métricas relacionadas (el Índice de Vulnerabilidad Social de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades [Centers for Disease Control and Prevention, CDC], el Índice Nacional de Riesgo de Peligros Naturales de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias [Federal Emergency Management Agency, FEMA] y las Estimaciones de Resiliencia Comunitaria de la Oficina del Censo) se utilizan cada vez más para fundamentar la investigación sobre la preparación de las comunidades ante los desastres y la adaptación al cambio climático^{177,178,179,180,181,182}. Los datos para respaldar este trabajo contribuyen a un área emergente de estudio de la medición de la resiliencia climática. Los avances recientes incluyen mejoras en la metodología de estimación de áreas pequeñas (<https://www.census.gov/programs-surveys/community-resilience-estimates.html>) y asociaciones público-privadas emergentes que aprovechan la inteligencia artificial y el aprendizaje automático (p. ej., Risk Factor de First Street Foundation y Rural Capacity Map de Headwaters Economics)^{183,184,185}.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Numerosos programas federales, estatales y locales se centran en el desarrollo de capacidades y proporcionan específicamente apoyo y servicios a las comunidades rurales y desatendidas^{165,186,187}. Sin embargo, existe incertidumbre sobre la sostenibilidad de las comunidades rurales y su resiliencia ante el cambio climático. Muchos de los desafíos y factores de estrés a los que se enfrentan las comunidades rurales son a largo plazo e incluyen, entre otros, pobreza persistente, pérdida de población, envejecimiento de la

probación, agotamiento de los recursos naturales, pérdida de tierras de cultivo y limitadas oportunidades económicas dentro y fuera de las granjas agrícolas^{121,188,189,190,191,192}. Además, aunque muchas comunidades rurales comparten desafíos similares, no son homogéneas en los aspectos social, cultural, económico o medioambiental¹⁹³. Una mayor confianza en las formas en que las comunidades podrían adaptarse con éxito a las perturbaciones requeriría una mayor investigación y formación a partir de una variedad de estrategias potenciales en toda la diversidad de las comunidades rurales.

Descripción de confianza y probabilidad

Numerosos datos demuestran que las comunidades rurales mantienen sistemas agrícolas que proporcionan fuentes esenciales de alimentos, combustible, piensos y fibras. Las comunidades rurales y sus habitantes gestionan más de dos tercios de la tierra de los EE. UU.¹⁹⁴ y, por tanto, son responsables de proteger los recursos naturales y los servicios ecosistémicos que prestan. La confianza es *alta*.

Amplia evidencia indica que el cambio climático y sus efectos agravantes exacerban factores de estrés existentes como pobreza, escasez de ingresos, desempleo y despoblación de las comunidades rurales. Sin embargo, son menos numerosos los estudios sobre el impacto y el alcance de estos impactos perjudiciales en la capacidad de estas comunidades para seguir proporcionando recursos alimentarios, combustibles, piensos y fibras a la Nación. La evidencia que indica que estas comunidades perderán la capacidad de gestionar los recursos naturales y mantener los niveles actuales de servicios ecosistémicos es limitada. La confianza es *media* con un nivel de posibilidad *probable*.

La evidencia de numerosas comunidades documenta la existencia de oportunidades para que las comunidades rurales aumenten su resiliencia ante el cambio climático. Sin embargo, los futuros impactos del cambio climático en los medios de subsistencia rurales y la efectividad a largo plazo de los esfuerzos de resiliencia rural son inciertos. Los desafíos y las necesidades de cada comunidad rural varían considerablemente¹⁹⁵. La confianza es *alta*.

Referencias

1. Coleman-Jensen, A., M.P. Rabbitt, C.A. Gregory, and A. Singh, 2021: Household Food Security in the United States in 2020. ERR-298. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=102075>
2. Meierotto, L., T. Mares, and S.M. Holmes, 2020: Introduction to the symposium: Bienestar—the well-being of Latinx farmworkers in a time of change. *Agriculture and Human Values*, **37** (1), 187–196. <https://doi.org/10.1007/s10460-019-09964-9>
3. Basso, B., 2021: Precision conservation for a changing climate. *Nature Food*, **2** (5), 322–323. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00283-z>
4. Imoro, Z.A., A.Z. Imoro, A.B. Duwiejuah, and A. Abukari, 2021: Harnessing Indigenous technologies for sustainable management of land, water, and food resources amidst climate change. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, **5**, 691603. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.691603>
5. Melash, A.A., A.A. Bogale, A.T. Migbaru, G.G. Chakilu, A. Percze, É.B. Ábrahám, and D.K. Mengistu, 2023: Indigenous agricultural knowledge: A neglected human based resource for sustainable crop protection and production. *Heliyon*, **9** (1), e12978. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12978>
6. Metro Vancouver, 2018: Ecological Health Framework. Metro Vancouver. <https://metrovancover.org/services/regional-planning/Documents/ecological-health-framework.pdf#search=Ecological%20Health%20Framework%2E>
7. Kukal, M.S. and S. Irmak, 2018: U.S. agro-climate in 20th century: Growing degree days, first and last frost, growing season length, and impacts on crop yields. *Scientific Reports*, **8** (1), 6977. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25212-2>
8. Franzluebbbers, A.J., 2013: Introduction to themed section—Supporting ecosystem services with conservation agricultural approaches. *Renewable Agriculture and Food Systems*, **28** (2), 99–101. <https://doi.org/10.1017/s1742170513000021>
9. Ghimire, R., U. Norton, P. Bista, A.K. Obour, and J.B. Norton, 2017: Soil organic matter, greenhouse gases and net global warming potential of irrigated conventional, reduced-tillage and organic cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **107** (1), 49–62. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9811-0>
10. Jakab, G., B. Madarász, M. Masoudi, M. Karlik, C. Király, D. Zacháry, T. Filep, I. Dekemati, C. Centeri, T. Al-Graiti, and Z. Szalai, 2023: Soil organic matter gain by reduced tillage intensity: Storage, pools, and chemical composition. *Soil and Tillage Research*, **226**, 105584. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105584>
11. Krauss, M., A. Berner, F. Perrochet, R. Frei, U. Niggli, and P. Mäder, 2020: Enhanced soil quality with reduced tillage and solid manures in organic farming—A synthesis of 15 years. *Scientific Reports*, **10** (1), 4403. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61320-8>
12. Lehmann, J., D.A. Bossio, I. Kögel-Knabner, and M.C. Rillig, 2020: The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, **1** (10), 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
13. Franzluebbbers, A.J., 2020: Soil-test biological activity with the flush of CO₂: V. Validation of nitrogen prediction for corn production. *Agronomy Journal*, **112** (3), 2188–2204. <https://doi.org/10.1002/agj2.20094>
14. Franzluebbbers, A.J. and G. Martin, 2022: Farming with forages can reconnect crop and livestock operations to enhance circularity and foster ecosystem services. *Grass and Forage Science*, **77** (4), 270–281. <https://doi.org/10.1111/gfs.12592>
15. Palomo-Campesino, S., M. García-Llorente, V. Hevia, F. Boeraeve, N. Dendoncker, and J.A. González, 2022: Do agroecological practices enhance the supply of ecosystem services? A comparison between agroecological and conventional horticultural farms. *Ecosystem Services*, **57**, 101474. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101474>
16. Francis, C., G. Lieblein, S. Gliessman, T.A. Breland, N. Creamer, R. Harwood, L. Salomonsson, J. Helenius, D. Rickerl, R. Salvador, M. Wiedenhoef, S. Simmons, P. Allen, M. Altieri, C. Flora, and R. Poincelot, 2003: Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, **22** (3), 99–118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10

17. Rivera-Ferre, M.G., 2018: The resignification process of Agroecology: Competing narratives from governments, civil society and intergovernmental organizations. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, **42** (6), 666–685. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1437498>
18. Wezel, A., M. Casagrande, F. Celette, J.-F. Vian, A. Ferrer, and J. Peigné, 2014: Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **34** (1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
19. Gliessman, S.R., 2014: *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, 405 pp. <https://doi.org/10.1201/b17881>
20. Bezner Kerr, R., S. Madsen, M. Stüber, J. Liebert, S. Enloe, N. Borghino, P. Parros, D.M. Mutyambai, M. Prudhon, and A. Wezel, 2021: Can agroecology improve food security and nutrition? A review. *Global Food Security*, **29**, 100540. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100540>
21. Amoak, D., I. Luginaah, and G. McBean, 2022: Climate change, food security, and health: Harnessing agroecology to build climate-resilient communities. *Sustainability*, **14** (21), 13954. <https://doi.org/10.3390/su142113954>
22. Duff, H., P.B. Hegedus, S. Loewen, T. Bass, and B.D. Maxwell, 2022: Precision agroecology. *Sustainability*, **14** (1), 106. <https://doi.org/10.3390/su14010106>
23. Hrabanski, M. and J.F. Le Coq, 2022: Climatisation of agricultural issues in the international agenda through three competing epistemic communities: Climate-smart agriculture, agroecology, and nature-based solutions. *Environmental Science & Policy*, **127**, 311–320. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.022>
24. Maurel, V.B. and C. Huyghe, 2017: Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology. *OCL*, **24** (3), D307. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017028>
25. Vagge, I. and G. Chiapparelli, 2023: Validating the contribution of nature-based farming solutions (NBFS) to agrobiodiversity values through a multi-scale landscape approach. *Agronomy*, **13** (1). <https://doi.org/10.3390/agronomy13010233>
26. Wynberg, R., M. Pimbert, N. Moeller, G. McAllister, R.B. Kerr, J. Singh, M. Belay, and M. Ngcoya, 2023: Nature-based solutions and agroecology: Business as usual or an opportunity for transformative change? *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, **65** (1), 15–22. <https://doi.org/10.1080/00139157.2023.2146944>
27. Martin, A.R. and M.E. Isaac, 2018: Functional traits in agroecology: Advancing description and prediction in agroecosystems. *Journal of Applied Ecology*, **55** (1), 5–11. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13039>
28. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019: *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda*. The National Academies Press, Washington, DC, 510 pp. <https://doi.org/10.17226/25259>
29. Tittonell, P., G. Piñeiro, L.A. Garibaldi, S. Dogliotti, H. Olf, and E.G. Jobbagy, 2020: Agroecology in large scale farming—A research agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, **4**, 584605. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.584605>
30. Wezel, A., B.G. Herren, R.B. Kerr, E. Barrios, A.L.R. Gonçalves, and F. Sinclair, 2020: Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **40** (6), 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
31. Baveye, P.C., J. Baveye, and J. Gowdy, 2016: Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. *Frontiers in Environmental Science*, **4**, 41. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041>
32. Altieri, M.A., C.I. Nicholls, A. Henao, and M.A. Lana, 2015: Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, **35** (3), 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
33. USDA, n.d.: The Role of Climate-Smart Agriculture in Climate Adaptation and Mitigation in the Northeast. U.S. Department of Agriculture, Climate Hubs, accessed August 4, 2023. <https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/northeast/topic/role-climate-smart-agriculture-climate-adaptation-and-mitigation-northeast>
34. Mizik, T., 2021: Climate-smart agriculture on small-scale farms: A systematic literature review. *Agronomy*, **11** (6), 1096. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061096>

35. Prager, K., J. Schuler, K. Helming, P. Zander, T. Ratering, and K. Hagedorn, 2011: Soil degradation, farming practices, institutions and policy responses: An analytical framework. *Land Degradation & Development*, **22** (1), 32–46. <https://doi.org/10.1002/ldr.979>
36. Myers, S., 2022: 2020 EPA Emissions Inventory Demonstrates Agriculture's Advancements in Sustainability. American Farm Bureau Federation. <https://www.fb.org/market-intel/2020-epa-emissions-inventory-demonstrates-agricultures-advancements-in-sustainability>
37. Abdalla, M., A. Hastings, K. Cheng, Q. Yue, D. Chadwick, M. Espenberg, J. Truu, R.M. Rees, and P. Smith, 2019: A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global Change Biology*, **25** (8), 2530–2543. <https://doi.org/10.1111/gcb.14644>
38. Ogle, S.M., C. Alsaker, J. Baldock, M. Bernoux, F.J. Breidt, B. McConkey, K. Regina, and G.G. Vazquez-Amabile, 2019: Climate and soil characteristics determine where no-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions. *Scientific Reports*, **9** (1), 11665. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47861-7>
39. Sanderson, J.S., C. Beutler, J.R. Brown, I. Burke, T. Chapman, R.T. Conant, J.D. Derner, M. Easter, S.D. Fuhlendorf, G. Grissom, J.E. Herrick, D. Liptzin, J.A. Morgan, R. Murph, C. Pague, I. Rangwala, D. Ray, R. Rondeau, T. Schulz, and T. Sullivan, 2020: Cattle, conservation, and carbon in the western Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*, **75** (1), 5A–12A. <https://doi.org/10.2489/jswc.75.1.5a>
40. Aryal, D.R., D.E. Morales-Ruiz, S. López-Cruz, C.N. Tondopó-Marroquín, A. Lara-Nucamendi, J.A. Jiménez-Trujillo, E. Pérez-Sánchez, J.E. Betanzos-Simon, F. Casasola-Coto, A. Martínez-Salinas, C.J. Sepúlveda-López, R. Ramírez-Díaz, M.A. La O Arias, F. Guevara-Hernández, R. Pinto-Ruiz, and M. Ibrahim, 2022: Silvopastoral systems and remnant forests enhance carbon storage in livestock-dominated landscapes in Mexico. *Scientific Reports*, **12** (1), 16769. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21089-4>
41. Howlett, D.S., M.R. Mosquera-Losada, P.K.R. Nair, V.D. Nair, and A. Rigueiro-Rodríguez, 2011: Soil carbon storage in silvopastoral systems and a treeless pasture in northwestern Spain. *Journal of Environmental Quality*, **40** (3), 825–832. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0145>
42. Lorenz, K. and R. Lal, 2014: Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **34** (2), 443–454. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0212-y>
43. Mayer, S., M. Wiesmeier, E. Sakamoto, R. Hübner, R. Cardinael, A. Kühnel, and I. Kögel-Knabner, 2022: Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **323**, 107689. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107689>
44. Augustine, D.J., 2010: Spatial versus temporal variation in precipitation in a semiarid ecosystem. *Landscape Ecology*, **25** (6), 913–925. <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9469-y>
45. Derner, J.D. and D.J. Augustine, 2016: Adaptive management for drought on rangelands. *Rangelands*, **38** (4), 211–215. <https://doi.org/10.1016/j.rala.2016.05.002>
46. Shrum, T.R., W.R. Travis, T.M. Williams, and E. Lih, 2018: Managing climate risks on the ranch with limited drought information. *Climate Risk Management*, **20**, 11–26. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.01.002>
47. Allen, C.R. and L.H. Gunderson, 2011: Pathology and failure in the design and implementation of adaptive management. *Journal of Environmental Management*, **92** (5), 1379–1384. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.063>
48. Fernandez-Gimenez, M.E., H.L. Ballard, and V.E. Sturtevant, 2008: Adaptive management and social learning in collaborative and community-based monitoring: A study of five community-based forestry organizations in the western USA. *Ecology and Society*, **13** (2). <https://doi.org/10.5751/es-02400-130204>
49. EPA, 2023: Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2021. EPA 430-R-23-002. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/draft-inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2021>
50. Allen, M.R., G.P. Peters, K.P. Shine, C. Azar, P. Balcombe, O. Boucher, M. Cain, P. Ciais, W. Collins, P.M. Forster, D.J. Frame, P. Friedlingstein, C. Fyson, T. Gasser, B. Hare, S. Jenkins, S.P. Hamburg, D.J.A. Johansson, J. Lynch, A. Macey, J. Morfeldt, A. Nauels, I. Ocko, M. Oppenheimer, S.W. Pacala, R. Pierrehumbert, J. Rogelj, M. Schaeffer, C.F. Schleussner, D. Shindell, R.B. Skeie, S.M. Smith, and K. Tanaka, 2022: Indicate separate contributions of long-lived and short-lived greenhouse gases in emission targets. *npj Climate and Atmospheric Science*, **5** (1), 5. <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00226-2>

51. Smith, M.A., M. Cain, and M.R. Allen, 2021: Further improvement of warming-equivalent emissions calculation. *npj Climate and Atmospheric Science*, **4** (1), 19. <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00169-8>
52. Claverie, M., J. Ju, J.G. Masek, J.L. Dungan, E.F. Vermote, J.-C. Roger, S.V. Skakun, and C. Justice, 2018: The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. *Remote Sensing of Environment*, **219**, 145–161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.002>
53. Sloat, L.L., S.J. Davis, J.S. Gerber, F.C. Moore, D.K. Ray, P.C. West, and N.D. Mueller, 2020: Climate adaptation by crop migration. *Nature Communications*, **11** (1), 1243. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15076-4>
54. Oloo, A.S., 2020: Service-oriented data mining architecture for climate-smart agriculture. *American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery*, **5** (1), 1–10. <https://doi.org/10.11648/j.ajdmkd.20200501.11>
55. Coleman, J., 2022: Eat more fish: When switching to seafood helps—and when it doesn't. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-02928-w>
56. Apostolidis, C. and F. McLeay, 2019: To meat or not to meat? Comparing empowered meat consumers' and anti-consumers' preferences for sustainability labels. *Food Quality and Preference*, **77**, 109–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.04.008>
57. Bangsa, A.B. and B.B. Schlegelmilch, 2020: Linking sustainable product attributes and consumer decision-making: Insights from a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, **245**, 118902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118902>
58. Chen, X., Z. Gao, and B.R. McFadden, 2020: Reveal preference reversal in consumer preference for sustainable food products. *Food Quality and Preference*, **79**, 103754. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103754>
59. Clune, S., E. Crossin, and K. Vergheze, 2017: Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, **140**, 766–783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.082>
60. McDougall, R., P. Kristiansen, and R. Rader, 2019: Small-scale urban agriculture results in high yields but requires judicious management of inputs to achieve sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **116** (1), 129–134. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809707115>
61. Pearson, L.J., L. Pearson, and C.J. Pearson, 2010: Sustainable urban agriculture: Stocktake and opportunities. *International Journal of Agricultural Sustainability*, **8** (1-2), 7–19. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0468>
62. Waite, R., M. Beveridge, R. Brummett, S. Castine, N. Chaiyawannakarn, S. Kaushik, R. Mungkung, S. Nawapakpilai, and M. Phillips, 2014: Improving Productivity and Environmental Performance of Aquaculture. World Resources Institute, Washington, DC, 60 pp. <https://www.wri.org/research/improving-productivity-and-environmental-performance-aquaculture>
63. MacLeod, M.J., M.R. Hasan, D.H.F. Robb, and M. Mamun-Ur-Rashid, 2020: Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific Reports*, **10** (1), 11679. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>
64. Ahmed, N. and S. Thompson, 2019: The blue dimensions of aquaculture: A global synthesis. *Science of The Total Environment*, **652**, 851–861. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.163>
65. Gephart, J.A., P.J.G. Henriksson, R.W.R. Parker, A. Shepon, K.D. Gorospe, K. Bergman, G. Eshel, C.D. Golden, B.S. Halpern, S. Hornborg, M. Jonell, M. Metian, K. Mifflin, R. Newton, P. Tyedmers, W. Zhang, F. Ziegler, and M. Troell, 2021: Environmental performance of blue foods. *Nature*, **597** (7876), 360–365. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03889-2>
66. Griffis, R. and J. Howard, 2013: *Oceans and Marine Resources in a Changing Climate. A Technical Input to the 2013 National Climate Assessment*. Island Press, Washington, DC, 252 pp. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-480-2>
67. Maulu, S., O.J. Hasimuna, L.H. Haambiya, C. Monde, C.G. Musuka, T.H. Makorwa, B.P. Munganga, K.J. Phiri, and J.D. Nsekanabo, 2021: Climate change effects on aquaculture production: Sustainability implications, mitigation, and adaptations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, **5**, 609097. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.609097>
68. Gerwing, K. and T. McDaniels, 2006: Listening to the Salmon People: Coastal First Nations' objectives regarding salmon aquaculture in British Columbia. *Society & Natural Resources*, **19** (3), 259–273. <https://doi.org/10.1080/08941920500460864>

69. Naylor, R.L., J. Eagle, and W.L. Smith, 2003: Salmon aquaculture in the Pacific Northwest a global industry with local impacts. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, **45** (8), 18–39. <https://doi.org/10.1080/00139150309604562>
70. Basche, A., K. Tully, N.L. Álvarez-Berrios, J. Reyes, L. Lengnick, T. Brown, J.M. Moore, R.E. Schattman, L.K. Johnson, and G. Roesch-McNally, 2020: Evaluating the untapped potential of US conservation investments to improve soil and environmental health. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, **4**, 547876. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.547876>
71. El Bilali, H., C. Callenius, C. Strassner, and L. Probst, 2019: Food and nutrition security and sustainability transitions in food systems. *Food and Energy Security*, **8** (2), e00154. <https://doi.org/10.1002/fes3.154>
72. Davis, K.F., S. Downs, and J.A. Gephart, 2021: Towards food supply chain resilience to environmental shocks. *Nature Food*, **2** (1), 54–65. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00196-3>
73. Godde, C.M., D. Mason-D'Croz, D.E. Mayberry, P.K. Thornton, and M. Herrero, 2021: Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Global Food Security*, **28**, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>
74. Jones, A.W. and A. Phillips, 2016: Historic food production shocks: Quantifying the extremes. *Sustainability*, **8** (5), 427. <https://doi.org/10.3390/su8050427>
75. Troy, T.J., C. Kipgen, and I. Pal, 2015: The impact of climate extremes and irrigation on US crop yields. *Environmental Research Letters*, **10** (5), 054013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/5/054013>
76. Vogel, E., M.G. Donat, L.V. Alexander, M. Meinshausen, D.K. Ray, D. Karoly, N. Meinshausen, and K. Frieler, 2019: The effects of climate extremes on global agricultural yields. *Environmental Research Letters*, **14** (5), 054010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab154b>
77. Zampieri, M., A. Ceglar, F. Dentener, and A. Toreti, 2017: Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales. *Environmental Research Letters*, **12** (6), 064008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa723b>
78. de Raymond, A.B., A. Alpha, T. Ben-Ari, B. Daviron, T. Nesme, and G. Tétart, 2021: Systemic risk and food security. Emerging trends and future avenues for research. *Global Food Security*, **29**, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100547>
79. Dall'Erba, S., Z. Chen, and N.J. Nava, 2021: U.S. interstate trade will mitigate the negative impact of climate change on crop profit. *American Journal of Agricultural Economics*, **103** (5), 1720–1741. <https://doi.org/10.1111/ajae.12204>
80. Baylis, K., T. Heckeley, and T.W. Hertel, 2021: Agricultural trade and environmental sustainability. *Annual Review of Resource Economics*, **13** (1), 379–401. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-101420-090453>
81. Thilmany, D., E. Canales, S.A. Low, and K. Boys, 2021: Local food supply chain dynamics and resilience during COVID-19. *Applied Economic Perspectives and Policy*, **43** (1), 86–104. <https://doi.org/10.1002/aep.13121>
82. Mbow, C., C. Rosenzweig, L.G. Barioni, T.G. Benton, M. Herrero, M. Krishnapillai, E. Liwenga, P. Pradhan, M.G. Rivera-Ferre, T. Sapkota, F.N. Tubiello, and Y. Xu, 2019: Ch. 5. 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*. Shukla, P.R., J. Skea, E.C. 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, and J. Malley, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 437–550. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.007>
83. Reardon, T. and D. Zilberman, 2018: Ch. 15. Climate smart food supply chains in developing countries in an era of rapid dual change in agrifood systems and the climate. In: *Climate Smart Agriculture: Building Resilience to Climate Change*. Lipper, L., N. McCarthy, D. Zilberman, S. Asfaw, and G. Branca, Eds. Springer, Cham, Switzerland, 335–351. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5_15
84. Reyes, J.J. and E. Elias, 2019: Spatio-temporal variation of crop loss in the United States from 2001 to 2016. *Environmental Research Letters*, **14** (7), 074017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1ac9>
85. Tack, J., K. Coble, and B. Barnett, 2018: Warming temperatures will likely induce higher premium rates and government outlays for the U.S. crop insurance program. *Agricultural Economics*, **49** (5), 635–647. <https://doi.org/10.1111/agec.12448>

86. Diffenbaugh, N.S., F.V. Davenport, and M. Burke, 2021: Historical warming has increased U.S. crop insurance losses. *Environmental Research Letters*, **16** (8), 084025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1223>
87. Ortiz-Bobea, A., E. Knippenberg, and R.G. Chambers, 2018: Growing climatic sensitivity of U.S. agriculture linked to technological change and regional specialization. *Science Advances*, **4** (12), 4343. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat4343>
88. Liang, X.-Z., Y. Wu, R.G. Chambers, D.L. Schmoldt, W. Gao, C. Liu, Y.-A. Liu, C. Sun, and J.A. Kennedy, 2017: Determining climate effects on US total agricultural productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **114** (12), E2285–E2292. <https://doi.org/10.1073/pnas.1615922114>
89. Ortiz-Bobea, A., T.R. Ault, C.M. Carrillo, R.G. Chambers, and D.B. Lobell, 2021: Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change*, **11** (4), 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>
90. Ortiz-Bobea, A., H. Wang, C.M. Carrillo, and T.R. Ault, 2019: Unpacking the climatic drivers of US agricultural yields. *Environmental Research Letters*, **14** (6), 064003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1e75>
91. Hertel, T.W. and C.Z. de Lima, 2020: Viewpoint: Climate impacts on agriculture: Searching for keys under the streetlight. *Food Policy*, **95**, 101954. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101954>
92. Licker, R., K. Dahl, and J.T. Abatzoglou, 2022: Quantifying the impact of future extreme heat on the outdoor work sector in the United States. *Elementa: Science of the Anthropocene*, **10** (1), 00048. <https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00048>
93. CDC, 2008: Heat-related deaths among crop workers—United States, 1992–2006. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, **57** (24), 649–653. <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5724a1.htm>
94. Tigchelaar, M., D.S. Battisti, and J.T. Spector, 2020: Work adaptations insufficient to address growing heat risk for U.S. agricultural workers. *Environmental Research Letters*, **15** (9), 094035. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab86f4>
95. de Lima, C.Z., J.R. Buzan, F.C. Moore, U.L.C. Baldos, M. Huber, and T.W. Hertel, 2021: Heat stress on agricultural workers exacerbates crop impacts of climate change. *Environmental Research Letters*, **16** (4), 044020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeb9f>
96. Al-Bazz, S.A., D. Béland, G.L. Lane, R.R. Engler-Stringer, J. White, and H. Vatanparast, 2022: Food security of temporary foreign farm workers under the seasonal agricultural worker program in Canada and the United States: A scoping review. *Advances in Nutrition*, **13** (5), 1603–1627. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac027>
97. Greene, C., 2018: Broadening understandings of drought—The climate vulnerability of farmworkers and rural communities in California (USA). *Environmental Science & Policy*, **89**, 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.08.002>
98. Baker, J.S., P. Havlík, R. Beach, D. Leclère, E. Schmid, H. Valin, J. Cole, J. Creason, S. Ohrel, and J. McFarland, 2018: Evaluating the effects of climate change on US agricultural systems: Sensitivity to regional impact and trade expansion scenarios. *Environmental Research Letters*, **13** (6), 064019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac1c2>
99. Beach, R.H., Y. Cai, A. Thomson, X. Zhang, R. Jones, B.A. McCarl, A. Crimmins, J. Martinich, J. Cole, S. Ohrel, B. DeAngelo, J. McFarland, K. Strzepek, and B. Boehlert, 2015: Climate change impacts on US agriculture and forestry: Benefits of global climate stabilization. *Environmental Research Letters*, **10** (9), 095004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/9/095004>
100. Chodur, G.M., X. Zhao, E. Biehl, J. Mitrani-Reiser, and R. Neff, 2018: Assessing food system vulnerabilities: A fault tree modeling approach. *BMC Public Health*, **18** (1), 817. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5563-x>
101. Thomas, K., R.D. Hardy, H. Lazrus, M. Mendez, B. Orlove, I. Rivera-Collazo, J.T. Roberts, M. Rockman, B.P. Warner, and R. Winthrop, 2019: Explaining differential vulnerability to climate change: A social science review. *WIREs Climate Change*, **10** (2), e565. <https://doi.org/10.1002/wcc.565>
102. Young, S.K. and H. Stewart, 2022: U.S. fruit and vegetable affordability on the Thrifty Food Plan depends on purchasing power and safety net supports. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19** (5). <https://doi.org/10.3390/ijerph19052772>

103. Darmon, N. and A. Drewnowski, 2015: Contribution of food prices and diet cost to socioeconomic disparities in diet quality and health: A systematic review and analysis. *Nutrition Reviews*, **73** (10), 643–660. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv027>
104. Koch, C.A., P. Sharda, J. Patel, S. Gubbi, R. Bansal, and M.J. Bartel, 2021: Climate change and obesity. *Hormone and Metabolic Research*, **53** (9), 575–587. <https://doi.org/10.1055/a-1533-2861>
105. Thompson, D., K.R. Johnson, K.M. Cistrunk, A. Vancil-Leap, T. Nyatta, L. Hossfeld, G. Rico Méndez, and C. Jones, 2020: Assemblage, food justice, and intersectionality in rural Mississippi: The Oktibbeha Food Policy Council. *Sociological Spectrum*, **40** (6), 381–399. <https://doi.org/10.1080/02732173.2020.1801541>
106. Cohen, A., 2021: The challenges of intersectionality in the lives of older adults living in rural areas with limited financial resources. *Gerontology and Geriatric Medicine*, **7**, 23337214211009363. <https://doi.org/10.1177/23337214211009363>
107. Rhoades, J.L., J.S. Gruber, and B. Horton, 2018: Developing an in-depth understanding of elderly adult's vulnerability to climate change. *The Gerontologist*, **58** (3), 567–577. <https://doi.org/10.1093/geront/gnw167>
108. Kindle, A., 2021: A Hunter's & Angler's Guide to Climate Change: Challenges, Opportunities & Solutions. National Wildlife Federation. https://azwildlife.org/resources/Documents/10-05-21_NWF_Outdoors%20_Climate_Report.pdf
109. Niles, M.T., K.B. Wirkkala, E.H. Belarmino, and F. Bertmann, 2021: Home food procurement impacts food security and diet quality during COVID-19. *BMC Public Health*, **21** (1), 945. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10960-0>
110. Smith, E., S. Ahmed, V. Dupuis, M. Running Crane, M. Eggers, M. Pierre, K. Flagg, and C. Byker Shanks, 2019: Contribution of wild foods to diet, food security, and cultural values amidst climate change. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, **9** (B), 191–214. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2019.09b.011>
111. Norton-Smith, K., K. Lynn, K. Chief, K. Cozzetto, J. Donatuto, M.H. Redsteer, L.E. Kruger, J. Maldonado, C. Viles, and K.P. Whyte, 2016: Climate Change and Indigenous Peoples: A Synthesis of Current Impacts and Experiences. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-944. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, 136 pp. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/53156>
112. Morton, J.F., 2007: The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104** (50), 19680–19685. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701855104>
113. Rodríguez-Cruz, L.A., M. Moore, and M.T. Niles, 2021: Puerto Rican farmers' obstacles toward recovery and adaptation strategies after Hurricane Maria: A mixed-methods approach to understanding adaptive capacity. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, **5**, 662918. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.662918>
114. Lovell, S.T., J. Hayman, H. Hemmelgarn, A.A. Hunter, and J.R. Taylor, 2021: Community orchards for food sovereignty, human health, and climate resilience: Indigenous roots and contemporary applications. *Forests*, **12** (11), 1533. <https://doi.org/10.3390/f12111533>
115. ERS, 2016: American Diet Includes Many High-Value Imported Products. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, accessed February 21 2022. <https://www.ers.usda.gov/data-products/chart-gallery/gallery/chart-detail/?chartid=58398>
116. ERS, 2019: Nearly Two-Thirds of U.S. Agricultural Imports Consist of Horticultural and Tropical Products. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, accessed February 21 2022. <https://www.ers.usda.gov/data-products/chart-gallery/gallery/chart-detail/?chartid=58362>
117. Lin, X., P.J. Ruess, L. Marston, and M. Konar, 2019: Food flows between counties in the United States. *Environmental Research Letters*, **14** (8), 084011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab29ae>
118. Crippa, M., E. Solazzo, D. Guizzardi, F. Monforti-Ferrario, F.N. Tubiello, and A. Leip, 2021: Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, **2** (3), 198–209. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>
119. EPA, 2021: From Farm to Kitchen: The Environmental Impacts of U.S. Food Waste. EPA 600-R21 171. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. <https://www.epa.gov/land-research/farm-kitchen-environmental-impacts-us-food-waste>

120. Read, Q.D., S. Brown, A.D. Cuéllar, S.M. Finn, J.A. Gephart, L.T. Marston, E. Meyer, K.A. Weitz, and M.K. Muth, 2020: Assessing the environmental impacts of halving food loss and waste along the food supply chain. *Science of The Total Environment*, **712**, 136255. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136255>
121. Cromartie, J., 2022: Population & Migration. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, accessed May 19, 2022. <https://www.ers.usda.gov/topics/rural-economy-population/population-migration/>
122. FRB of St. Louis, 2021: *Investing in Rural Prosperity*. Dumont, A. and D.P. Davis, Eds. Federal Reserve Bank of St. Louis. <https://www.stlouisfed.org/community-development/publications/invest-in-rural>
123. Cutter, S.L., K.D. Ash, and C.T. Emrich, 2016: Urban–rural differences in disaster resilience. *Annals of the American Association of Geographers*, **106** (6), 1236–1252. <https://doi.org/10.1080/24694452.2016.1194740>
124. Jerch, R., M.E. Kahn, and G.C. Lin, 2020: Local Public Finance Dynamics and Hurricane Shocks. Working Paper 28050. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA. <https://doi.org/10.3386/w28050>
125. Liao, Y. and C. Kousky, 2022: The fiscal impacts of wildfires on California municipalities. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, **9** (3), 455–493. <https://doi.org/10.1086/717492>
126. Fannin, J.M., 2018: Ch. 15. Financial resilience of local governments impacted by natural disasters: A framework for calculating climate change risk and liability. In: *Addressing Climate Change at the Community Level in the United States*. Lachapelle, P.R. and D.E. Albrecht, Eds. Routledge, 232–242. <https://doi.org/10.4324/9781351211727>
127. Jensen, J.K., 2009: Climate Change and Rural Communities in the U.S. Rural Policy Research Institute, 13 pp. https://rupri.org/wp-content/uploads/Climate_Change_Brief.pdf
128. FEMA, 2020: National Risk Index: Primer. U.S. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency. https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_national-risk-index_primer.pdf
129. Yabe, T., P.S.C. Rao, S.V. Ukkusuri, and S.L. Cutter, 2022: Toward data-driven, dynamical complex systems approaches to disaster resilience. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **119** (8), e2111997119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2111997119>
130. Cain, C., 2021: Ch. 33. Developing climatic capacity in rural places. In: *Investing In Rural Prosperity*. Dumont, A. and D.P. Davis, Eds. Federal Reserve Bank of St. Louis, 475–486. <https://www.stlouisfed.org/-/media/project/frbstl/stlouisfed/files/pdfs/community-development/investing-rural/chapters/chapter33.pdf>
131. Cutter, S.L., K.D. Ash, and C.T. Emrich, 2014: The geographies of community disaster resilience. *Global Environmental Change*, **29**, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.08.005>
132. Cheung, W.W.L. and T.L. Frölicher, 2020: Marine heatwaves exacerbate climate change impacts for fisheries in the northeast Pacific. *Scientific Reports*, **10** (1), 6678. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63650-z>
133. NMFS, 2022: Fishery Disaster Determinations. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, accessed May 19, 2022. <https://www.fisheries.noaa.gov/national/funding-and-financial-services/fishery-disaster-determinations>
134. Peterson Williams, M.J., B. Robbins Gisclair, E. Cerny-Chipman, M. LeVine, and T. Peterson, 2022: The heat is on: Gulf of Alaska Pacific cod and climate-ready fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, **79** (2), 573–583. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab032>
135. McIlgorm, A., S. Hanna, G. Knapp, P. Le Floc'H, F. Millerd, and M. Pan, 2010: How will climate change alter fishery governance? Insights from seven international case studies. *Marine Policy*, **34** (1), 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2009.06.004>
136. Szymkowiak, M. and S. Kasperski, 2021: Sustaining an Alaska coastal community: Integrating place based well-being indicators and fisheries participation. *Coastal Management*, **49** (1), 107–131. <https://doi.org/10.1080/08920753.2021.1846165>
137. Leibensperger, C., P. Yang, Q. Zhao, S. Wei, and X. Cai, 2021: The synergy between stakeholders for cellulosic biofuel development: Perspectives, opportunities, and barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **137**, 110613. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110613>
138. Proctor, K.W., G.S. Murthy, and C.W. Higgins, 2021: Agrivoltaics align with Green New Deal goals while supporting investment in the US' rural economy. *Sustainability*, **13** (1), 137. <https://doi.org/10.3390/su13010137>

139. Briske, D.D., J.P. Ritten, A.R. Campbell, T. Klemm, and A.E.H. King, 2021: Future climate variability will challenge rangeland beef cattle production in the Great Plains. *Rangelands*, **43** (1), 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.rala.2020.11.001>
140. Franzluebbbers, A.J. and M.H. Poore, 2021: Tall fescue management and environmental influences on soil, surface residue, and forage properties. *Agronomy Journal*, **113** (2), 2029–2043. <https://doi.org/10.1002/agj2.20577>
141. Nouri, A., D.C. Yoder, M. Raji, S. Ceylan, S. Jagadamma, J. Lee, F.R. Walker, X. Yin, J. Fitzpatrick, B. Trexler, P. Arelli, and A.M. Saxton, 2021: Conservation agriculture increases the soil resilience and cotton yield stability in climate extremes of the southeast US. *Communications Earth & Environment*, **2** (1), 155. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00223-6>
142. ERS. 2022: Annual Cash Receipts by Commodity. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://data.ers.usda.gov/reports.aspx?id=17832>
143. Dayer, A.A., S.H. Lutter, K.A. Sesser, C.M. Hickey, and T. Gardali, 2018: Private landowner conservation behavior following participation in voluntary incentive programs: Recommendations to facilitate behavioral persistence. *Conservation Letters*, **11** (2), e12394. <https://doi.org/10.1111/conl.12394>
144. Prokopy, L.S., K. Floress, J.G. Arbuckle, S.P. Church, F.R. Eanes, Y. Gao, B.M. Gramig, P. Ranjan, and A.S. Singh, 2019: Adoption of agricultural conservation practices in the United States: Evidence from 35 years of quantitative literature. *Journal of Soil and Water Conservation*, **74** (5), 520. <https://doi.org/10.2489/jswc.74.5.520>
145. Prokopy, L.S., K. Floress, D. Klotthor-Weinkauff, and A. Baumgart-Getz, 2008: Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation*, **63** (5), 300. <https://doi.org/10.2489/jswc.63.5.300>
146. Ranjan, P., S.P. Church, K. Floress, and L.S. Prokopy, 2019: Synthesizing conservation motivations and barriers: What have we learned from qualitative studies of farmers' behaviors in the United States? *Society & Natural Resources*, **32** (11), 1171–1199. <https://doi.org/10.1080/08941920.2019.1648710>
147. Conant, R.T., C.E.P. Cerri, B.B. Osborne, and K. Paustian, 2017: Grassland management impacts on soil carbon stocks: A new synthesis. *Ecological Applications*, **27** (2), 662–668. <https://doi.org/10.1002/eap.1473>
148. Franzluebbbers, A.J., 2010: Achieving soil organic carbon sequestration with conservation agricultural systems in the southeastern United States. *Soil Science Society of America Journal*, **74** (2), 347–357. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0079>
149. Rizzo, G., J.P. Monzon, F.A. Tenorio, R. Howard, K.G. Cassman, and P. Grassini, 2022: Climate and agronomy, not genetics, underpin recent maize yield gains in favorable environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **119** (4), e2113629119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2113629119>
150. Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, and P.E. Fixen, 2009: Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **133** (3), 247–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
151. Aubert, B.A., A. Schroeder, and J. Grimaudo, 2012: IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support Systems*, **54** (1), 510–520. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.07.002>
152. Delgado, J.A., N.M. Short, D.P. Roberts, and B. Vandenberg, 2019: Big data analysis for sustainable agriculture on a geospatial cloud framework. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, **3**, 54. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00054>
153. Guinée, J.B., R. Heijungs, G. Huppes, A. Zamagni, P. Masoni, R. Buonamici, T. Ekvall, and T. Rydberg, 2011: Life cycle assessment: Past, present, and future. *Environmental Science & Technology*, **45** (1), 90–96. <https://doi.org/10.1021/es101316v>
154. Prasad, R., A. Bhattacharyya, and Q.D. Nguyen, 2017: Nanotechnology in sustainable agriculture: Recent developments, challenges, and perspectives. *Frontiers in Microbiology*, **8**, 1014. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01014>
155. Howden, S.M., J.-F. Soussana, F.N. Tubiello, N. Chhetri, M. Dunlop, and H. Meinke, 2007: Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104** (50), 19691–19696. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701890104>

156. Bünemann, E.K., G. Bongiorno, Z. Bai, R.E. Creamer, G. De Deyn, R. de Goede, L. Fleskens, V. Geissen, T.W. Kuyper, P. Mäder, M. Pulleman, W. Sukkel, J.W. van Groenigen, and L. Brussaard, 2018: Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, **120**, 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
157. Qiao, L., X. Wang, P. Smith, J. Fan, Y. Lu, B. Emmett, R. Li, S. Dorling, H. Chen, S. Liu, T.G. Benton, Y. Wang, Y. Ma, R. Jiang, F. Zhang, S. Piao, C. Müller, H. Yang, Y. Hao, W. Li, and M. Fan, 2022: Soil quality both increases crop production and improves resilience to climate change. *Nature Climate Change*, **12** (6), 574–580. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01376-8>
158. Institute of Medicine and National Research Council, 2015: *A Framework for Assessing Effects of the Food System*. The National Academies Press, Washington, DC, 444 pp. <https://doi.org/10.17226/18846>
159. Letta, M. and R.S.J. Tol, 2019: Weather, climate and total factor productivity. *Environmental and Resource Economics*, **73** (1), 283–305. <https://doi.org/10.1007/s10640-018-0262-8>
160. Janssens, C., P. Havlík, T. Krisztin, J. Baker, S. Frank, T. Hasegawa, D. Leclère, S. Ohrel, S. Ragnauth, E. Schmid, H. Valin, N. Van Lipzig, and M. Maertens, 2020: Global hunger and climate change adaptation through international trade. *Nature Climate Change*, **10** (9), 829–835. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0847-4>
161. STACCWG, 2021: The Status of Tribes and Climate Change Report. Marks-Marino, D., Ed. Northern Arizona University, Institute for Tribal Environmental Professionals, Flagstaff, AZ. <http://nau.edu/stacc2021>
162. Fujimori, S., T. Iizumi, T. Hasegawa, J.y. Takakura, K. Takahashi, and Y. Hijioka, 2018: Macroeconomic impacts of climate change driven by changes in crop yields. *Sustainability*, **10** (10), 3673. <https://doi.org/10.3390/su10103673>
163. Caro, J.C., P. Valizadeh, A. Correa, A. Silva, and S.W. Ng, 2020: Combined fiscal policies to promote healthier diets: Effects on purchases and consumer welfare. *PLoS ONE*, **15** (1), e0226731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226731>
164. Ali Bhutto, Z., 2019: Agriculture & America's Rural Economy. Harvest Returns. <https://www.harvestreturns.com/blog/2019/7/15/agriculture-americas-rural-economy>
165. NCSL, 2020: Challenges Facing Rural Communities. National Conference of State Legislatures. <https://www.ncsl.org/agriculture-and-rural-development/challenges-facing-rural-communities>
166. Arjomand, S. and D. Haight, 2017: Greener Fields: Combating Climate Change by Keeping Land in Farming in New York. American Farmland Trust. <https://farmlandinfo.org/publications/greener-fields-combating-climate-change-by-keeping-land-in-farming-in-new-york/>
167. NALC, 2022: Conservation Programs. National Agricultural Law Center, accessed May 19, 2022. <https://nationalaglawcenter.org/research-by-topic/conservation-programs/>
168. Bush, H., J. Leonard, C. Metrick, and J. Wilson, 2019: Investing to Revitalize Rural America: Practical Ways to Tackle the Growing Urban/Rural Divide. Cornerstone Capital Group, 25 pp. <https://www.pathstone.com/investing-to-revitalize-rural-america/>
169. Coffin, A.W., F. Akhter, M.A. Drummond, and D.R. Huggins, 2022: Editorial: Rural land change and the capacity for ecosystem conservation and sustainable production in North America. *Frontiers in Environmental Science*, **10**, 850424. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.850424>
170. Dabson, B., 2020: Equitable Recovery and Resilience in Rural America. The Aspen Institute, 17 pp. <https://www.aspeninstitute.org/publications/equitable-recovery-and-resilience-in-rural-america/>
171. Inungu, J.N. and M.J. Minelli, 2022: *Foundations of Rural Public Health in America*, 1st ed. Jones & Bartlett Learning, 528 pp. <https://www.jblearning.com/catalog/productdetails/9781284182453>
172. Johnson, K.M. and D.T. Lichter, 2019: Rural depopulation: Growth and decline processes over the past century. *Rural Sociology*, **84** (1), 3–27. <https://doi.org/10.1111/ruso.12266>
173. Parker, K., J.M. Horowitz, A. Brown, R. Fry, D. Cohn, and R. Igielnik, 2018: Demographic and Economic Trends in Urban, Suburban and Rural Communities. Pew Research Center. <https://www.pewresearch.org/social-trends/2018/05/22/demographic-and-economic-trends-in-urban-suburban-and-rural-communities/>
174. Horney, J., M. Nguyen, D. Salvesen, C. Dwyer, J. Cooper, and P. Berke, 2017: Assessing the quality of rural hazard mitigation plans in the southeastern United States. *Journal of Planning Education and Research*, **37** (1), 56–65. <https://doi.org/10.1177/0739456x16628605>

175. Jayawardhan, S., 2017: Vulnerability and climate change induced human displacement. *Consilience: The Journal of Sustainable Development*, **17** (1), 103–142. <http://www.jstor.org/stable/26188784>
176. Johnson, E., J. Bell, D. Coker, E. Hertz, N. Labarge, and G. Blake, 2018: A lifeline and social vulnerability analysis of sea level rise impacts on rural coastal communities. *Shore and Beach*, **86**, 36–44. <https://asbpa.org/publications/shore-and-beach/shore-beach-vol-86-no-4-fall-2018-abstracts/>
177. Shen, S., R.H. Chang, K. Kim, and M. Julian, 2022: Challenges to maintaining disaster relief supply chains in island communities: Disaster preparedness and response in Honolulu, Hawai'i. *Natural Hazards*, **114**, 1829–1855. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05449-x>
178. Abrash Walton, A., J. Marr, M.J. Cahillane, and K. Bush, 2021: Building community resilience to disasters: A review of interventions to improve and measure public health outcomes in the northeastern United States. *Sustainability*, **13** (21), 11699. <https://doi.org/10.3390/su132111699>
179. Gibson, A., P. Fletcher, and M.H. McSweeney-Feld, 2018: Disaster preparedness and age-friendly cities and communities: An opportunity to impact community resilience. *Innovation in Aging*, **2** (suppl_1), 46–46. <https://doi.org/10.1093/geroni/igy023.172>
180. Jones, B.A., 2021: Can community resilience to disaster be taught? *International Journal of Risk and Contingency Management*, **10** (4), 58–68. <https://doi.org/10.4018/ijrcm.2021100105>
181. Mayer, B., 2019: A review of the literature on community resilience and disaster recovery. *Current Environmental Health Reports*, **6** (3), 167–173. <https://doi.org/10.1007/s40572-019-00239-3>
182. Wilson, L.A., 2022: Ch. 2. Resilience and sustainability development: Lessons from climate change adaptation research. In: *Research Anthology on Environmental and Societal Impacts of Climate Change*. Information Resources Management Association, Ed. IGI Global, Hershey, PA, 17–43. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-3686-8.ch002>
183. Eisenberg, D., T. Seager, and D.L. Alderson, 2019: Rethinking resilience analytics. *Risk Analysis*, **39** (9), 1870–1884. <https://doi.org/10.1111/risa.13328>
184. Hong, B., B.J. Bonczak, A. Gupta, and C.E. Kontokosta, 2021: Measuring inequality in community resilience to natural disasters using large-scale mobility data. *Nature Communications*, **12** (1), 1870. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22160-w>
185. Kontokosta, C.E. and A. Malik, 2018: The resilience to emergencies and disasters index: Applying big data to benchmark and validate neighborhood resilience capacity. *Sustainable Cities and Society*, **36**, 272–285. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.025>
186. Parker, E., L. Tach, and C. Robertson, 2022: Do federal place-based policies improve economic opportunity in rural communities? *RSF: The Russell Sage Foundation Journal of the Social Sciences*, **8** (4), 125. <https://doi.org/10.7758/rsf.2022.8.4.06>
187. Shambaugh, R. and R. Nunn, 2018: Place-Based Policies for Shared Economic Growth. The Brookings Institution. <https://www.brookings.edu/multi-chapter-report/place-based-policies-for-shared-economic-growth/>
188. ERS, 2022: Rural Poverty & Well-Being. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, accessed May 19, 2022. <https://www.ers.usda.gov/topics/rural-economy-population/rural-poverty-well-being/>
189. Niccolai, A.R., S. Damaske, and J. Park, 2022: We won't be able to find jobs here: How growing up in rural America shapes decisions about work. *RSF: The Russell Sage Foundation Journal of the Social Sciences*, **8** (4), 87. <https://doi.org/10.7758/rsf.2022.8.4.04>
190. Sorensen, A.A., J. Freedgood, J. Dempsey, and D.M. Theobald, 2018: Farms Under Threat: The State of America's Farmland. American Farmland Trust. https://farmlandinfo.org/wp-content/uploads/sites/2/2020/05/AFT_FUT_SAF_2020final.pdf
191. Theobald, D.M., I. Leinwand, J.J. Anderson, V. Landau, and B.G. Dickson, 2019: Loss and Fragmentation of Natural Lands in the Conterminous U.S. from 2001 to 2017. *Conservation Science Partners*, 9 pp. <https://www.csp-inc.org/public/CSP%20Disappearing%20US%20Exec%20Summary%20011819.pdf>
192. Thiede, B.C., D.T. Lichter, and T. Slack, 2018: Working, but poor: The good life in rural America? *Journal of Rural Studies*, **59**, 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.02.007>

193. Clark, S., S. Harper, and B. Weber, 2022: Growing up in rural America. RSF: *The Russell Sage Foundation Journal of the Social Sciences*, **8** (3), 1. <https://doi.org/10.7758/rsf.2022.8.3.01>
194. HRSA, 2022: Defining Rural Population. Health Resources and Services Administration, accessed September 7, 2022. <https://www.hrsa.gov/rural-health/about-us/what-is-rural>
195. Goetz, S.J., M.D. Partridge, and H.M. Stephens, 2018: The economic status of rural America in the President Trump era and beyond. *Applied Economic Perspectives and Policy*, **40** (1), 97–118. <https://doi.org/10.1093/aep/px061>