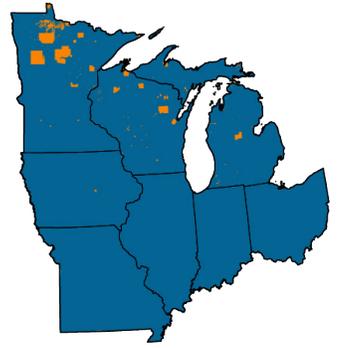


Medio Oeste



Capítulo 24. Medio Oeste

Autores y colaboradores

Autor principal de coordinación federal

John M. Baker, USDA Agricultural Research Service

Autor principal del capítulo

Aaron B. Wilson, The Ohio State University, Byrd Polar and Climate Research Center

Autores del capítulo

Elizabeth A. Ainsworth, USDA Agricultural Research Service

Jeffrey Andresen, Michigan State University

Jay A. Austin, University of Minnesota Duluth

Jeffrey S. Dukes, Carnegie Institution for Science

Elizabeth Gibbons, Farallon Strategies LLC

Brendalynn O. Hoppe, University of Minnesota Climate Adaptation Partnership

Olivia E. LeDee, US Geological Survey

James Noel, NOAA National Weather Service, Ohio River Forecast Center

Heidi A. Roop, University of Minnesota Climate Adaptation Partnership

Sara A. Smith, Oneida Nation and College of Menominee Nation

Dennis P. Todey, USDA Agricultural Research Service, National Laboratory for Agriculture and the Environment

Ray Wolf, NOAA National Weather Service (retired)

Jeffrey D. Wood, University of Missouri, School of Natural Resources

Contribuyentes técnicos

Sean Burkholder, University of Pennsylvania

Sean Cavanaugh, MITRE Corporation

Trent W. Ford, University of Illinois, Prairie Research Institute

Jennifer Richkus, MITRE Corporation

Editor revisor

Thomas W. Bonnot, US Fish and Wildlife Service

Arte de apertura de capítulo

Nikki Way

Cita recomendada

Wilson, A.B., J.M. Baker, E.A. Ainsworth, J. Andresen, J.A. Austin, J.S. Dukes, E. Gibbons, B.O. Hoppe, O.E. LeDee, J. Noel, H.A. Roop, S.A. Smith, D.P. Todey, R. Wolf, and J.D. Wood, 2023: Cap. 24. Medio Oeste. 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.CH24.ES>

Índice de Contenidos

Introducción6

Mensaje clave 24.1

Las prácticas climáticamente inteligentes podrían compensar las interacciones climáticas complejas en la agricultura.....7

Riesgo.....	7
Impactos	7
Agricultura climáticamente inteligente.....	12

Mensaje clave 24.2

La adaptación puede aliviar las alteraciones de los ecosistemas y sus servicios 14

Riesgo.....	14
Impactos	14
Soluciones de adaptación y mitigación basadas en la naturaleza	18

Mensaje clave 24.3

Las estrategias de adaptación y mitigación climática mejoran la salud individual y comunitaria 19

Riesgo.....	19
Impactos	19
Resiliencia climática para mejorar la salud	23
Recuadro 24.1. Recursos educativos del Medio Oeste	24

Mensaje clave 24.4

Las infraestructuras ecológicas y las soluciones de inversión pueden abordar los costosos impactos del cambio climático.....25

Riesgo	25
Impactos	25
Financiamiento e inversiones innovadoras	30

Mensaje clave 24.5

La gestión de los extremos es necesaria para minimizar el impacto en la calidad y cantidad del agua31

Riesgo.....	31
Impactos	31
Gestión de la complejidad hidrológica y extremos	39

Cuentas trazables.....	40
Descripción del proceso	40
Mensaje clave 24.1.....	40
Mensaje clave 24.2.....	42
Mensaje clave 24.3.....	44
Mensaje clave 24.4.....	45
Mensaje clave 24.5.....	46
 Referencias	 49

Introducción

El Medio Oeste es diverso en paisajes, pueblos y cultura. La región abarca más de 328 millones de acres, de los que aproximadamente 284 millones están cubiertos por tierras de cultivo y bosques o designados como terrenos públicos. Mantiene ecosistemas y vida silvestre vitales y proporciona refugio y recreación a sus residentes, entre los que se encuentran 35 tribus reconocidas por el Gobierno Federal y otras muchas reconocidas y no reconocidas por los estados. Más de 40,000 lagos naturales y miles de embalses y estanques artificiales salpican el paisaje. El Medio Oeste limita con cuatro de los cinco Grandes Lagos; en conjunto, los cinco Grandes Lagos contienen aproximadamente el 21 % del suministro mundial de agua dulce superficial y cerca del 10 % de la población estadounidense vive dentro de la cuenca de los Grandes Lagos. Hay más de 500,000 millas de ríos y arroyos que fluyen a través de la región, incluidos los ríos Mississippi, Missouri y Ohio, líneas vitales críticas que permiten el intercambio de bienes y servicios en todo el país. El Medio Oeste está conectado por más de 2 millones de millas de carreteras, 160,000 puentes, 34,000 millas de ferrocarril y 3,000 aeropuertos. Tiene 41 ciudades con al menos 100,000 habitantes, incluidas 5 de las 30 ciudades más pobladas de Estados Unidos. Todos los estados del Medio Oeste, excepto Illinois, tienen una población urbana inferior al promedio nacional, y el 74.3 % de la población del Medio Oeste vive en zonas urbanas¹.

El clima del Medio Oeste se ha calentado desde la primera mitad del siglo XX y las precipitaciones anuales han aumentado (Figura 2.4). Los cambios intraanuales, como la reciente falta de calentamiento durante el verano y las rápidas oscilaciones entre períodos húmedos y secos extremos (Figura 24.1), aumentan la complejidad y la incertidumbre de los impactos futuros. No obstante, estos cambios han impactado la agricultura (KM 24.1), los recursos naturales (KM 24.2), la salud y el bienestar (KM 24.3), el entorno construido y el transporte (KM 24.4) y la calidad y cantidad del agua (KM 24.5) de formas socialmente importantes e interconectadas. El aumento de las temperaturas y las oscilaciones entre sequías extremas e inundaciones amenazan los cultivos de campo, los cultivos especializados y la producción animal en todo el Medio Oeste^{2,3}, que tienen impactos directos y desiguales sobre el suministro y la seguridad alimentaria global (KM 11.2). Estas rápidas oscilaciones de la hidrología seguirán transformando los ecosistemas acuáticos y terrestres, muchos de los cuales influyen enormemente en la salud individual y comunitaria y en el entorno construido. Estos cambios observados y proyectados limitan enormemente el acceso a las zonas naturales, incluidas las íntimamente ligadas al hielo invernal⁴. El cambio climático no solo amenaza la recreación y la economía de esta región, sino que también altera importantes conexiones de identidad entre los pueblos indígenas y sus tierras ancestrales (KM 16.1)⁵. La salud individual y comunitaria está en riesgo, con impactos en cascada sobre las conexiones sociales y culturales que destacan las desigualdades en salud vinculadas con la raza, la etnia, la edad y los ingresos (KM 14.1, 15.2). El envejecimiento de las infraestructuras crea incertidumbre sobre la capacidad de satisfacer las necesidades energéticas actuales y futuras y de soportar volúmenes crecientes de agua. Aunque los paisajes rurales dominan el Medio Oeste, los centros urbanos concentran los riesgos climáticos y las desigualdades socioeconómicas (KM 12.2). El informe de desastres meteorológicos y climáticos de mil millones de dólares de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) (Figura 2.6) no tiene plenamente en cuenta la carga que sufren las poblaciones con bajos ingresos de los centros urbanos debido a eventos de inundaciones crónicas de menor escala. Por último, los aumentos proyectados de la temperatura y la variabilidad de las precipitaciones amenazan la capacidad de mantener la calidad del agua y gestionar los ríos Mississippi, Missouri y Ohio de forma que se mantenga el flujo de bienes y servicios en toda la región y el país. Los indicadores de los Grandes Lagos, desde el consumo de pescado hasta las especies invasoras, muestran condiciones diversas. Muchas de las complejas interacciones entre los cambios climáticos, los lagos y las tierras y poblaciones circundantes generan incertidumbre en las proyecciones a largo plazo de los niveles de los lagos y las tendencias de las métricas ambientales y ecosistémicas (Tabla 24.1)⁶, y esta

incertidumbre tiene importantes implicaciones para la colaboración internacional y la gestión adaptativa en los Grandes Lagos (Recuadro 4.3).

A pesar de estos numerosos riesgos para la economía y la identidad del Medio Oeste, las personas están respondiendo de formas que ofrecen esperanza para el futuro. Los investigadores están identificando prácticas agrícolas climáticamente inteligentes que podrían ayudar a aumentar la rentabilidad y mejorar la sostenibilidad económica y medioambiental (Figura 24.4). Cada vez se reconoce más que las tierras naturales no intervenidas proporcionan beneficios económicos y sociales al contribuir a la mitigación y adaptación climática (al aportar soluciones basadas en la naturaleza mediante una gestión efectiva de los recursos), y que la colaboración con las tribus en asuntos relacionados con la tierra mejora los resultados climáticos para todos los residentes. Dentro de las comunidades, las personas participan unas con otras para identificar soluciones que aborden los factores estructurales, institucionales y sistémicos que contribuyen a las desigualdades y a la injusticia climática. Investigadores y profesionales colaboran para construir redes de transporte y energía resilientes al cambio climático, al tiempo que mantienen la cohesión social. Por ejemplo, la gestión portuaria experimental en los Grandes Lagos está asumiendo el papel de restauración ecológica, lo que también mejora la salud social de la región (Figura 24.9). Comunidades como Milwaukee han desarrollado asociaciones público-privadas y han aumentado las infraestructuras ecológicas de aguas pluviales. Por último, los socios federales colaboran con las agencias estatales y locales en la creación de herramientas y enfoques para abordar los retos relacionados con el clima, como la sequía y el florecimiento de algas nocivas.

Mensaje clave 24.1

Las prácticas climáticamente inteligentes podrían compensar las interacciones climáticas complejas en la agricultura

Se proyecta que la producción de cultivos cambie de forma compleja (*probable, confianza media*) debido al aumento de las precipitaciones extremas y a las transiciones entre condiciones húmedas y secas (*probable, confianza media*), así como a la intensificación de la pérdida de agua de los cultivos (*probable, confianza baja*). Se prevé que los cambios en las precipitaciones extremas, el momento del deshielo y las precipitaciones a principios de la primavera planteen mayores retos para la agricultura y la ganadería, lo que incluye el aumento de la transmisión de plagas y enfermedades, el enturbiamiento de los pastos y una mayor degradación de la calidad del agua (*probable, confianza alta*). La agricultura climáticamente inteligente y otras técnicas de adaptación ofrecen una vía potencial hacia la sostenibilidad medioambiental y económica (*confianza media*).

Riesgo

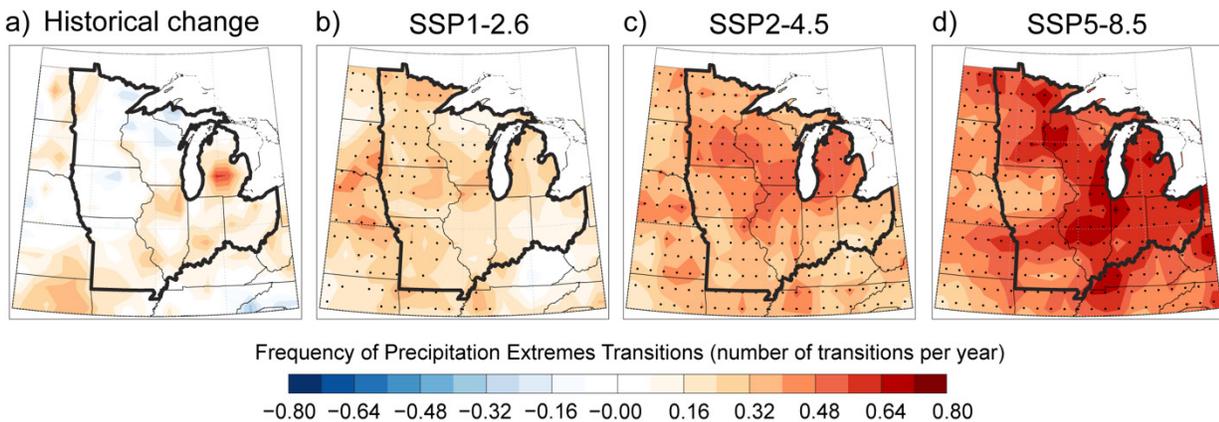
El Medio Oeste se encuentra entre las regiones agrícolas más intensivas del mundo, ya que produce más del 30 % del maíz y el 32 % de la soja del mundo; numerosos cultivos especializados; y ganado en explotaciones concentradas^{7,8}. El cambio climático ya está afectando la agricultura del Medio Oeste y los cambios climáticos proyectados aumentan estos riesgos.

Impactos

Las precipitaciones anuales aumentaron entre un 5 % y un 15 % en gran parte del Medio Oeste durante 1992-2021 (en comparación con el promedio de 1901-1960), con algunas zonas experimentando una

reducción de las precipitaciones durante el verano (Figura 2.4)^{9,10,11,12}. Estas tendencias, especialmente en la región centro-Norte de los EE. UU., se atribuyen en parte a la influencia humana^{13,14}. Las proyecciones (en escenarios de bajo [RCP2.6] a muy alto [RCP8.5]) sugieren aumentos de las precipitaciones en el Medio Oeste que oscilan entre el 8 % y el 20 % a mediados de siglo en relación con las cinco décadas anteriores, con incertidumbre en los modelos individuales en cuanto al grado, la dirección (más húmedo o más seco) y las características espaciales regionales (KM 3.3)^{10,12,15,16,17}. Se espera que las transiciones rápidas entre extremos de precipitación aumenten en todo el Medio Oeste a finales de siglo (2071-2100), en comparación con las condiciones históricas (Figura 24.1)^{17,18}. La mayor variabilidad de las precipitaciones y la mayor frecuencia de las transiciones húmeda-secas aumentan los riesgos de sequías transitorias y los daños a los cultivos, lo que exige cambios en los sistemas de gestión para mantener la seguridad alimentaria^{19,20,21}.

Cambio en la frecuencia de las transiciones entre extremos de precipitación de 1 mes



Se proyecta que la frecuencia de las transiciones húmeda-secas y secas-húmeda en todo el Medio Oeste aumente a finales de siglo (2071-2100).

Figura 24.1. Se espera que las transiciones entre períodos húmedos y secos sean más frecuentes en todo el Medio Oeste. Los cambios observados en la frecuencia de transición (de húmedo a seco o de seco a húmedo) se basan en el Índice de Precipitación Estandarizado (Standardized Precipitation Index, SPI), representado por la diferencia entre los períodos 1951-1980 y 1981-2010 (cambio histórico, panel a). El SPI es un índice estadístico común que cuantifica la intensidad relativa de la sequía o la humedad y sus valores mensuales se utilizan para mostrar las transiciones en períodos cortos. Los cambios proyectados en la frecuencia de transición en escenarios bajos (SSP1-2.6; b), intermedio (SSP2-4.5; c) y muy alto (SSP5-8.5; d) están representados por la diferencia entre los períodos 2071-2100 y 1981-2010. La línea negra delimita la región Medio Oeste. Los puntos negros indican las celdas en las que la frecuencia de transición proyectada por el modelo difiere significativamente de la climatología histórica. Adaptado de Chen y Ford 2023¹⁸ [CC BY 4.0].

Aunque el rendimiento promedio del maíz y la soja aumentó en las décadas recientes en el Medio Oeste²², tanto la humedad excesiva (inundaciones) como las sequías extremas redujeron significativamente el rendimiento del maíz en algunos lugares y años hasta en un 37 %^{2,23}. La humedad primaveral excesiva ha retrasado la siembra del maíz hasta un mes²⁴, mientras que las sequías episódicas han reducido los rendimientos² a pesar del aumento de las precipitaciones anuales²⁵.

Las proyecciones futuras sugieren nuevos cambios en la estacionalidad y un aumento de la variabilidad. Se espera que el deshielo adelantado aumente el caudal máximo diario de primavera²⁶. Los escenarios de intermedio (RCP4.5) a muy alto (RCP8.5) muestran tanto un aumento de la frecuencia de primaveras húmedas como una disminución de las precipitaciones de verano y suelos más secos^{15,27,28}. Precipitaciones más intensas a principios de la primavera, cuando los suelos están más descubiertos y húmedos, aumentan la erosión del suelo³ y la lixiviación de fertilizantes nitrogenados¹⁰. Además, los problemas de calidad del

agua (KM 24.5) se ven agravados por la mayor frecuencia de desbordamientos de los depósitos de estiércol en primavera y por la mayor presión ejercida sobre los agricultores para que esparzan el estiércol antes de tiempo.

El aumento de la temperatura afecta directamente el desarrollo y la fisiología de los cultivos^{29, 30, 31} y provocan aumentos de la evapotranspiración y estrés en condiciones de sequía³². Mientras que las temperaturas mínimas diarias han aumentado, las temperaturas máximas diurnas (en verano) se han enfriado en algunas zonas del Medio Oeste (1991-2021 en comparación con 1901-1960; consulte la Figura 2.4). Se trata de una tendencia importante para el Medio Oeste y difiere de la de otras regiones (Figura 3.11). A menudo, conocido como el “agujero del calentamiento”³³, esta tendencia puede explicarse en parte por la expansión de las tierras de cultivo y el aumento de la transpiración en partes del Medio Oeste y las Grandes Llanuras del Norte (KM 25.2)^{34, 35, 36, 37, 38}. El aumento de la transpiración también puede haber inducido los incrementos observados de las precipitaciones de verano en algunas partes de la región³⁴. Estos cambios pueden haber contribuido a mejorar el rendimiento del maíz^{39, 40, 41}. Sin embargo, las proyecciones en una serie de escenarios (de bajo [SSP1-2.6] a muy alto [SSP5-8.5]) muestran que el aumento de las temperaturas reducirá la productividad del maíz y de la soja, mientras que mantendrá la producción de trigo a finales de siglo^{31, 42, 43}. Las temperaturas más altas también aumentan el déficit de presión de vapor (vapor pressure deficit, VPD), lo que incrementa la pérdida de agua de los cultivos. Si no se amplía el riego, se espera que los aumentos proyectados del VPD limiten el rendimiento del maíz^{44, 45}.

El riego en el Medio Oeste también afecta el clima. En la región de Wisconsin Central Sands, por ejemplo, la agricultura de riego, en comparación con la agricultura de secano, ha contribuido a disminuir las temperaturas máximas, aumentar las temperaturas mínimas, aumentar el VPD y disminuir la demanda de evaporación⁴⁶. Esta complejidad del cambio de uso de la tierra o microclima introduce incertidumbre respecto a las proyecciones futuras de temperaturas y humedad en todo el Medio Oeste (KM 6.2).

La producción animal en el Medio Oeste también es vulnerable al cambio climático. Se espera que el aumento de las precipitaciones y de la temperatura en invierno y primavera provoque que los prados y pastos estén más embarrados, lo que puede disminuir el crecimiento fetal durante el final de la gestación^{47, 48, 49}. Los cultivos forrajeros perennes están mayor riesgo de presentar daños invernales con el cambio climático debido a una mayor frecuencia de temperaturas por encima del punto de congelación durante el invierno²³. Sin embargo, con un clima más cálido y húmedo, temporadas de crecimiento más largas y mayores concentraciones de dióxido de carbono, la productividad forrajera podría aumentar, aunque la calidad podría disminuir⁵⁰. Otros impactos importantes para el ganado son la escasez de alimento, la pérdida de estructuras de sombra, las restricciones nutricionales, la transmisión de enfermedades y los problemas de bioseguridad (p. ej., los cerdos silvestres y las aves acuáticas pueden contaminar las poblaciones existentes al buscar terrenos más elevados)⁵¹. El aumento de las temperaturas y de los puntos de rocío impone exigencias a la gestión del ganado y a las necesidades de alojamiento para limitar pérdidas de productividad o la mortalidad. El estrés térmico limita la producción ganadera^{51, 52} y la calidad de los productos lácteos⁵³. En escenarios intermedio (RCP4.5) y muy alto (RCP8.5) podrían ser necesarias medidas de reducción del calor más intensas (p. ej., ventiladores, nebulización, aspersores y ventilación) para mantener los aumentos recientes de producción⁵⁴, y los impactos medioambientales sobre la producción láctea aumentarán hasta 2050⁵⁵.

Los cultivos especializados, como árboles frutales y hortalizas (p. ej., calabaza y bayas), representan una industria de \$7,100 millones (en dólares de 2022) y tienen valores de mercado potenciales y riesgos relacionados con la producción más elevados que los cultivos básicos, debido a su dependencia del sabor y la apariencia^{56, 57}. Los daños por frío y las heladas dañinas durante la primavera son motivo de preocupación tanto para los cultivos perennes como para los anuales (Figura 24.2), y el exceso de humedad se ha asociado con pérdidas significativas de cultivos para los agricultores durante todo el año⁵⁸. El florecimiento

temprano seguido de heladas primaverales (Figura 24.3) ha ocasionado un desarrollo fenológico prematuro de los cultivos de árboles frutales, un florecimiento errático y un mayor riesgo de daños por heladas en abril y mayo^{23, 58}. Es limitado el conocimiento actual de los impactos futuros sobre los cultivos hortícolas y especializados a través de los cambios climáticos proyectados. A medida que aumentan las temperaturas, los cambios en la sincronización y las zonas de crecimiento de los cultivos han provocado descensos observados en la población de polinizadores que se han traducido directamente en una disminución de la producción agrícola^{59, 60, 61}. Las proyecciones de aumento de las temperaturas sugieren que continuarán los retos relacionados con las zonas de cultivo y la sincronización⁶².

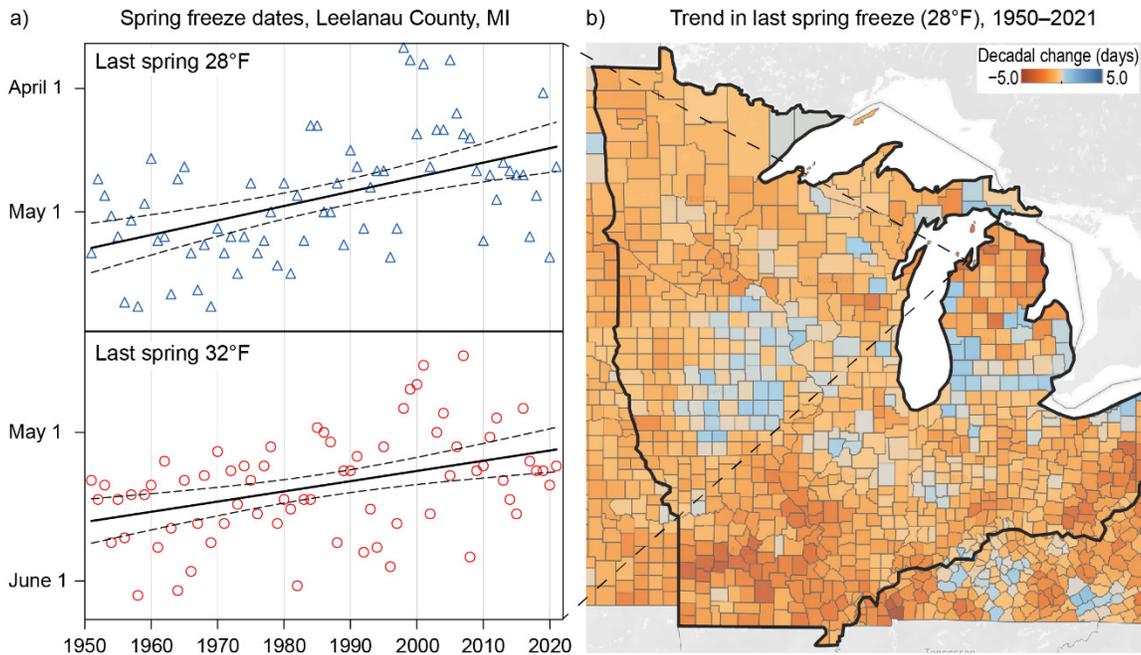
Flores de manzano dañadas por la congelación



El calentamiento y el florecimiento tempranos, seguidos de temperaturas bajo cero en primavera, plantean riesgos para los cultivos perennes y anuales.

Figura 24.2. Flores de manzano dañadas por una helada el 9 de mayo de 2020, en el condado de Berrien, Michigan. Créditos de la fotografía: ©Dr. Mike Reinke, Michigan State University.

Tendencias de las últimas fechas de congelación en primavera



Las últimas heladas primaverales se están produciendo antes en la mayor parte de la región Medio Oeste.

Figura 24.3. (a) Las tendencias (líneas negras continuas) muestran que la última fecha de la primavera en la que las temperaturas mínimas descienden a 28 °F o 32 °F en el condado de Leelanau, Michigan, se produce más temprano en el año. Por ejemplo, la última temperatura de 28 °F se produjo comúnmente después del 1.º de mayo durante los años 1950-1970, con fechas más tempranas observadas desde los años 80 del siglo pasado. Es de notar la gran variabilidad de fechas. La significación estadística de las tendencias (líneas negras discontinuas; basadas en un intervalo de confianza del 95 %) muestra el rango de valores de la línea de tendencia basado en las fechas observadas. En todos los casos, confirman que existe una tendencia a adelantar las fechas de la última helada. El panel (b) muestra el cambio en el número de días por década de la última helada primaveral (28 °F) durante el período 1950-2021. La línea negra delimita la región Medio Oeste. El sombreado naranja indica una tendencia a adelantar las fechas de la última helada primaveral, el sombreado azul indica una tendencia a retrasar las fechas de la última helada primaveral y el sombreado gris indica que no hay tendencia. Adaptado con permiso de the Midwest Regional Climate Center’s Freeze Date Tool (<https://mrcc.purdue.edu/freeze/freedatetool>). La capa base del mapa de la derecha es ©Mapbox ©OpenStreetMap.

La evidencia sugiere que la distribución de las plagas se ha desplazado hacia el norte desde principios del siglo XX, y las proyecciones indican que el aumento de las temperaturas permitirá que las plagas (p. ej., chinche apestosa marrón marmoleada, gusano de la espiga del maíz, escarabajo japonés, escarabajo mexicano de la judía y chicharrita de la papa) sigan expandiéndose hacia el norte por el Medio Oeste^{63, 64, 65, 66, 67, 68}. Los inviernos más cálidos provocan la expansión de las poblaciones de insectos por los Grandes Lagos (p. ej., Kiefer *et al.* 2021⁶⁹), mientras que las condiciones más cálidas y secas exacerban la pérdida de rendimiento por la competencia de la maleza⁷⁰. Los puntos de rocío (humedad) más altos aumentan el riesgo de enfermedades en numerosos cultivos, como la soja y las manzanas^{21, 71, 72}.

La mayoría de los cultivos en hilera del Medio Oeste están asegurados, lo que proporciona a los agricultores cierta seguridad económica frente a los riesgos meteorológicos y climáticos⁷³. Sin embargo, las pérdidas de los seguros de cosechas de los EE. UU. siguen aumentando, con una estimación de \$31,900 millones (en dólares de 2022) atribuidos al cambio climático en las últimas tres décadas⁷⁴. Los pagos por sequía representan el mayor porcentaje de las indemnizaciones, aunque las pérdidas por humedad están aumentando⁷⁵. La evidencia sugiere una disminución general de la sequía en toda la región desde 1895⁷⁶; sin embargo, el aumento de la sequía repentina (rápido agotamiento de la humedad del suelo), junto con

la degradación del suelo⁷⁷ y cultivos más productivos⁸, ha provocado estrés hídrico en los cultivos y la vegetación nativa^{78, 79}. Los daños causados por las sequías y otras pérdidas económicas relacionadas con el clima también tienen implicaciones en la salud mental de los agricultores (KM 24.3).

Agricultura climáticamente inteligente

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, “la agricultura climáticamente inteligente define una agricultura que aumenta de forma sostenible la productividad [y] la resiliencia (adaptación), reduce o elimina los gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG) (mitigación) y mejora la consecución de las metas nacionales de seguridad alimentaria y desarrollo”⁸⁰. Las estrategias climáticamente inteligentes incluyen, entre otras, uso de cultivos de cobertura, operaciones de labranza reducida o nula, mejora de la gestión de nutrientes y estiércol, gestión de humedales y pastizales, agrosilvicultura, cultivos bioenergéticos, secuestro de carbono en el lugar y agrivoltaica (la integración de las actividades de producción agrícola y la generación de energía solar; Figura 24.4). Sin embargo, existen incertidumbres sobre los beneficios y perjuicios climáticos de estas técnicas, sobre todo en entornos de campo⁸¹. Los cultivos de cobertura pueden mejorar la salud del suelo, reducir la erosión y aumentar el carbono orgánico del suelo. El 5 % de los campos agrícolas del Medio Oeste tenían cultivos de cobertura en 2017, frente al 2.6 % en 2012⁸². Una reducción en los rendimientos de los cultivos comerciales puede disuadir de una mayor adopción de cultivos de cobertura, y análisis recientes sugieren que la adopción de cultivos de cobertura no leguminosos redujo los rendimientos del maíz entre un 3.9 % y un 5.5 % en el Medio Oeste^{82, 83}. Los programas federales y la legislación han invertido miles de millones de dólares para animar a los productores a probar diversas prácticas climáticamente inteligentes. La agricultura de precisión, que maximiza la eficiencia de la aplicación de insumos (p. ej., fertilizantes y herbicidas), permite gestionar zonas homogéneas dentro de un mismo campo^{84, 85}. Tales enfoques tienen el potencial de aumentar la eficiencia de la producción, aumentar la resiliencia ante los riesgos relacionados con el clima, en particular la pérdida de fertilizantes nitrogenados^{86, 87}, y producir beneficios colaterales para los ecosistemas del Medio Oeste (KM 24.2). El maíz sigue siendo el principal cultivo bioenergético de los EE. UU., que proporciona etanol como biocombustible⁸⁸. Se debate mucho si el etanol de maíz es una práctica climáticamente inteligente⁸⁸. En comparación con el etanol de maíz, los biocombustibles de segunda generación obtenidos a partir de biomasa celulósica, incluidos los cultivos energéticos específicos (cultivados específicamente para la producción de energía y no de alimentos), los residuos de cultivos agrícolas (materiales que quedan en la tierra después de la cosecha) y los residuos de madera, tienen un mayor potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, con impactos adversos limitados sobre los precios de los cultivos alimentarios y los cambios indirectos en el uso de la tierra^{89, 90, 91}. En el KM 11.1 se analizan otras técnicas relacionadas con la ganadería y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Impacto medioambiental de las prácticas convencionales frente a las climáticamente inteligentes



Las estrategias agrícolas climáticamente inteligentes pueden tener ventajas de adaptación y mitigación que equilibren las necesidades agrícolas y los impactos medioambientales.

Figura 24.4. La figura muestra ejemplos de métodos de producción convencionales y climáticamente inteligentes: (en el sentido de las agujas del reloj) campo de trigo en Brownsburg, Indiana; maíz de primavera bajo un cielo despejado en el suroeste de Ohio con sonda de muestreo del suelo en el campo; salida de la estructura de control del agua a la zanja de drenaje agrícola; raigrás anual intersembrado, tréboles y rábanos creciendo en maíz joven en el condado de Carroll, Iowa; característica macrotopográfica (cresta y cuneta) en una servidumbre de restauración de humedales en el condado de Starke, Indiana; siembra en verde: siembra directa de soja sobre centeno en pie en el condado de Washington, Iowa; el Centro de Investigación de Sistemas Forrajeros de Missouri trabaja para mejorar la calidad del césped forrajero, promueve el pastoreo intensivo, el pastoreo rotativo, la gestión del ganado y la economía de la carne de vacuno y el forraje; un ejemplo de agrivoltaica, combinación de la producción de energía solar en tierras de producción agrícola; agricultor labrando los campos: práctica tradicional para romper el suelo en preparación para la siembra; agricultor cosechando soja con cosechadora. Los diagramas del centro comparan las necesidades agrícolas (óvalos azules y texto) con los impactos medioambientales (óvalos verdes y texto) tanto para la agricultura convencional como para la climáticamente inteligente. Como se

muestra, existe un desequilibrio entre las necesidades agrícolas y el impacto medioambiental de la agricultura convencional (representada por los óvalos azul y verde); mientras que la agricultura climáticamente inteligente puede proporcionar un mayor equilibrio entre ambas. Adaptado con permiso de Foley *et al.* 2011⁹². Créditos de las fotografías: (arriba a la izquierda; izquierda, segunda desde arriba) United Soybean Board [CC BY 2.0]; (arriba centro) Carly Whitmore, NRCS; (arriba derecha) ©Elizabeth Hawkins; (derecha, segunda y tercera desde arriba; abajo izquierda) NRCS/SWCS fotografía de Lynn Betts [CC BY 2.0]; (abajo a la derecha) Carly Whitmore, NRCS; (abajo en el centro) Kyle Spradley [CC BY 2.0]; (izquierda, tercero por arriba) ©Tony Mancuso.

Mensaje clave 24.2

La adaptación puede aliviar las alteraciones de los ecosistemas y sus servicios

Los ecosistemas ya se están viendo afectados por cambios meteorológicos extremos y otros cambios relacionados con el clima, con impactos negativos en una amplia gama de especies (*probable, confianza alta*). Se prevé que la incidencia creciente de inundaciones y sequías altere aún más los ecosistemas acuáticos (*probable, confianza media*), mientras que los ecosistemas terrestres están siendo remodelados por el aumento de las temperaturas y la disminución de la capa de nieve y hielo (*muy probable, confianza alta*). La pérdida de servicios ecosistémicos está socavando el bienestar humano, lo que causa pérdida de beneficios económicos, culturales y de salud (*confianza media*). En respuesta, las comunidades están adaptando sus prácticas culturales y la forma en que gestionan el paisaje y están preservando y protegiendo los ecosistemas y los servicios que prestan (*confianza baja*).

Riesgo

El Medio Oeste alberga muchas comunidades y culturas que aprecian y dependen de los peces, la vida silvestre, las aguas y las tierras. Las comunidades indígenas de todo el Medio Oeste reconocen los recursos naturales como personas y familia extendida (un punto de vista centrado en los parientes) y, a veces, pueden utilizar terminología como parientes o seres para referirse a ellos⁹³. Estos parientes favorecen la continuidad intergeneracional, el patrimonio y la práctica espiritual. La pesca, la caza y la observación de la vida silvestre son actividades recreativas habituales y aportan miles de millones de dólares a la economía regional⁹⁴. La exposición a entornos naturales mejora el bienestar y la salud humanos⁹⁵, mientras que el acceso limitado a los recursos naturales contribuye a la desigualdad en salud⁹⁶.

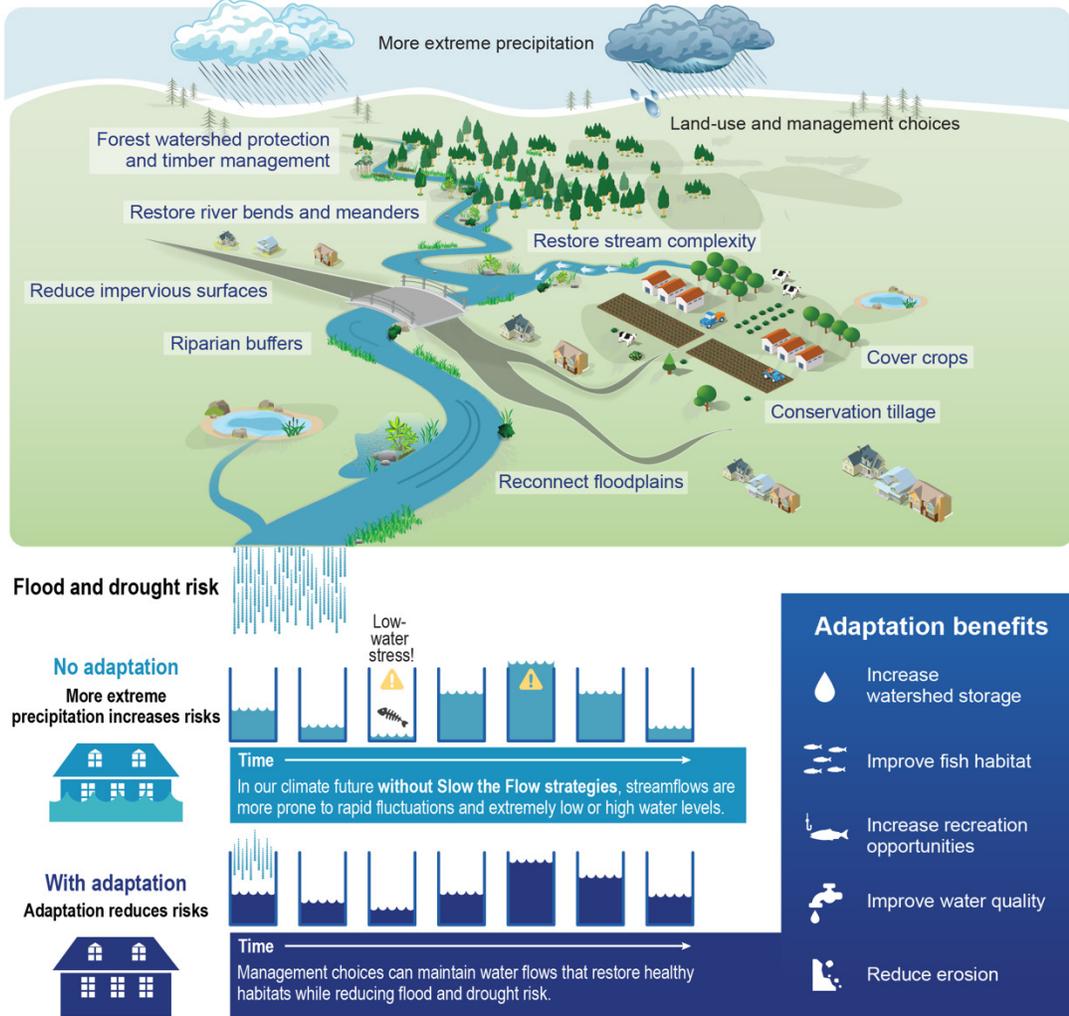
Impactos

Los ecosistemas acuáticos del Medio Oeste se están viendo perjudicados por el aumento de las temperaturas y de las precipitaciones⁹⁷. El cambio climático se cruza con las especies invasoras, el cambio de uso de la tierra y el consumo humano para afectar la contaminación por nutrientes y la calidad y los niveles de agua^{98, 99, 100, 101}. Por ejemplo, las especies invasoras y la degradación del hábitat están afectando negativamente el crecimiento, la supervivencia y la abundancia del lucio^{98, 102, 103, 104}. Se proyecta que la mortandad masiva de peces debido al calor extremo del verano se duplique a mediados de siglo (en un escenario muy alto [RCP8.5]) en los lagos templados del norte¹⁰⁵. De hecho, la Fond du Lac Band del Lago Superior Chippewa documentó un aumento de las temperaturas letales en los arroyos y un descenso en la captura de truchas de arroyo⁵.

Los eventos de precipitaciones extremas degradan los ecosistemas ribereños, erosionan las riberas de ríos y arroyos, dispersan contaminantes, alteran los ciclos de plantas y animales y propagan especies invasoras;

sin embargo, las inundaciones pueden tener beneficios, como el aumento de la conectividad para los organismos acuáticos, la complejidad del hábitat y el tamaño del terreno inundable¹⁰⁶. Se proyecta que la reducción del deshielo adelante los picos de caudal en primavera^{107,108}. Se proyecta que las rápidas transiciones en la hidrología (Figura 24.5) y el aumento de las temperaturas provoquen cambios generalizados en las condiciones de los arroyos, lo que modifica los hábitats de invertebrados y peces¹⁰⁹. Aunque se proyecta un descenso generalizado de las poblaciones de trucha común y trucha fario, los arroyos con fuentes de agua subterránea mejoradas han demostrado su resiliencia al calentamiento y su capacidad para mantener una pesca viable¹¹⁰. Los cambios climáticos en las precipitaciones intensas se ven amplificadas por el uso de la tierra, con efectos negativos pronunciados en las cuencas urbanas¹¹¹ y agrícolas²⁶.

Impactos de las precipitaciones extremas



Las precipitaciones extremas tienen impactos adversos en los ecosistemas acuáticos y terrestres, la salud humana, la infraestructura y la economía. Las estrategias de conservación y gestión pueden ayudar a moderar estos impactos.

Figura 24.5. Las precipitaciones extremas pueden degradar los ecosistemas acuáticos, amenazar la salud y la seguridad de las personas, dañar las infraestructuras y las comunidades y producir miles de millones de dólares en daños económicos. La conservación y gestión de tierras naturales puede reducir estos efectos negativos: reducir la erosión y el riesgo de inundaciones, mejorar la calidad del agua, aumentar la retención de carbono y reducir el costo económico de las inundaciones. Este dibujo conceptual, que muestra un paisaje del Medio Oeste con una tormenta extrema en el horizonte y agua fluyendo hacia arroyos y ríos, ilustra cómo las opciones de gestión de la

tierra afectan las inundaciones aguas abajo, las infraestructuras y los servicios ecosistémicos. Los elementos del paisaje y las prácticas de gestión de la tierra que ralentizan el flujo de agua a través de la superficie pueden mejorar el hábitat y la calidad del agua, reducir los riesgos de inundación y sequía y tener otros muchos beneficios. Adaptado con permiso de Palmer *et al.* 2020¹¹².

Al igual que en las Grandes Llanuras del Norte (KM 25.4), la expansión agrícola amenaza los pastizales del Medio Oeste¹¹³ a través de la pérdida de hábitat y la fragmentación de la tierra, lo que agrava la vulnerabilidad de la vida silvestre de los pastizales^{114, 115}. En Indiana, las altas temperaturas y la sequía contribuyeron a la extirpación local de la mariposa azul de Karner, en peligro de extinción¹¹⁶, y partes del Medio Oeste pueden volverse inhóspitas para la mariposa monarca debido al cambio climático¹¹⁷. Aunque la composición de las comunidades de pastizales está cambiando en respuesta al cambio climático, el uso de la tierra y la gestión¹¹⁸, la adopción de la siega y la quema prescrita puede compensar los impulsos globales y regionales para conservar la biodiversidad en estos ecosistemas amenazados^{119, 120}.

Se proyecta que el aumento de las temperaturas incrementa el riesgo de incendios forestales en los bosques del Medio Oeste^{121, 122, 123}. Las sequías repentinas, caracterizadas por una aparición súbita y una rápida intensificación^{124, 125}, han aumentado en frecuencia desde 1980, aunque no está claro si las frecuencias actuales reflejan un cambio con respecto al pasado (es decir, antes de que comenzara el registro fundamental¹²⁶). Las sequías repentinas no solo impactan los cultivos (KM 24.1), sino que también inducen un importante estrés hídrico en los bosques de suelo fino, lo que incita la infección de patógenos que aumentan la mortalidad de los árboles¹²⁷. Además, el cambio climático combinado con la gestión de los ríos para la navegación pone en peligro la salud de los bosques de los terrenos inundables, que son importantes focos de actividad ecológica^{128, 129}.

La amenaza de las especies invasoras se ve amplificada por el cambio climático^{130, 131}. Sin embargo, las especies invasoras pueden percibirse de distintas maneras: muchas comunidades indígenas tienen visiones holísticas de las invasoras, o seres no locales, que abarcan atributos tanto positivos como negativos. Por ejemplo, el diente de león y el llantén común se utilizan con fines medicinales en las comunidades Anishinaabe. Entender los dones y enseñanzas que tienen los seres puede cambiar nuestras interacciones y la gestión de los recursos^{93, 132}.

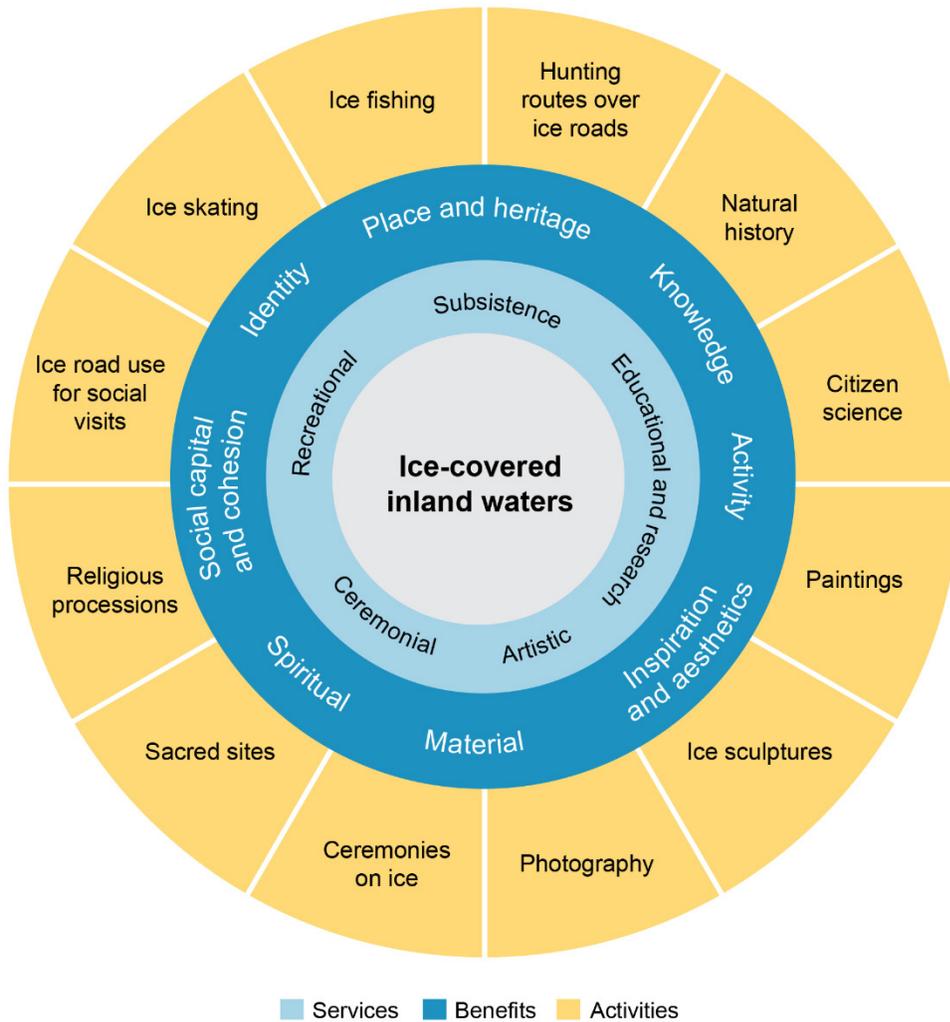
El calentamiento ha reducido la duración de las condiciones de frío persistente y ha disminuido la capa de nieve en el alto Medio Oeste^{133, 134}. La nieve favorece la supervivencia de la vida silvestre boreal al aislarla del frío¹³⁵. Algunos tipos de vida silvestre, como los alces, se ven amenazados por el calentamiento invernal¹³³; en las últimas tres décadas se ha registrado una disminución de las poblaciones de alces en el territorio cedido de 1854^{136, 137}. Esta pérdida, a su vez, tiene impactos en cascada sobre las prácticas culturales, el bienestar humano, la recolección de subsistencia y el turismo^{133, 138, 139}.

El cambio climático acelera la pérdida de seres, el acceso y la conexión con la tierra de los pueblos indígenas (Capítulo 16)^{133, 140, 141, 142, 143}. El arroz silvestre es una de las especies culturalmente más vulnerables para las tribus del Medio Oeste^{5, 144} y las tasas de cosecha han disminuido debido al calentamiento y a la alteración de la hidrología^{136, 145}, lo que puede conducir a una pérdida de identidad cultural^{5, 146}. El arce azucarero también tiene importancia cultural y económica para las comunidades indígenas^{133, 145, 147}. El calentamiento de los inviernos ha alterado la sincronización y la duración de la recolección del azúcar de arce^{136, 145}. Los cambios estacionales y el desplazamiento de los hábitats pueden impactar los conocimientos tradicionales, el idioma, la salud física y el bienestar mental al alterar la sincronización de las ceremonias culturales, la disponibilidad de los seres necesarios para las ceremonias y la posible pérdida de parientes culturalmente significativos (KM 8.2, 16.1)^{145, 148}.

Las actividades recreativas en la naturaleza están en transición, lo que afecta las oportunidades, la economía y la seguridad (KM 8.3). Por ejemplo, el cambio climático limita la disponibilidad de peces como el lucioperca

y la trucha, lo que a veces conlleva la reducción de los límites de capturas¹⁰⁴ e inseguridad alimentaria¹⁴⁹. La capa de hielo, una característica importante de los sistemas lacustres del norte, está disminuyendo en respuesta al aumento de las temperaturas del aire en invierno¹⁵⁰ y los cambios más bruscos comenzaron en la década de los años 90 del siglo XX⁴. Se proyecta que la pérdida de la cubierta de hielo continúe hasta finales de este siglo, con mayores pérdidas en los escenarios altos¹⁵⁰, amenazando algunas actividades y servicios culturales (Figura 24.6)¹⁵¹. Los ahogamientos invernales también han aumentado junto con las temperaturas, que han disminuido la capa de hielo¹⁵².

Servicios ecológicos de las aguas interiores cubiertas de hielo



El aumento de las temperaturas invernales está reduciendo la capa de hielo de los lagos interiores y los servicios ecosistémicos, beneficios y actividades asociados que proporciona.

Figura 24.6. Las aguas interiores cubiertas de hielo proporcionan a los seres humanos servicios ecosistémicos culturales importantes (anillo celeste), beneficios (anillo azul oscuro) y actividades (anillo amarillo) que son fundamentales para el bienestar, la cultura y la identidad de las personas en todo el Medio Oeste. Adaptado de Knoll et al. 2019¹⁵¹ [CC BY 4.0].

Soluciones de adaptación y mitigación basadas en la naturaleza

Los administradores de tierras gestionan activamente los bosques del Medio Oeste para adaptarse al cambio climático¹⁵³ mediante reducción de factores de estrés, restauración de la diversidad de especies nativas, aumento de la diversidad estructural (p. ej., la variación de la estructura por edades) y cambio de la composición de los bosques hacia especies mejor adaptadas a las condiciones climáticas futuras^{153, 154}. Estudios adicionales pueden informar sobre la introducción de especies adaptadas al clima futuro para lograr los resultados deseados en la gestión forestal¹⁵⁵.

Los administradores de pesca disponen de medios para reducir los efectos del aumento de la temperatura del agua, las nuevas especies invasoras y otros cambios provocados por el clima⁹⁷. Han combinado datos socioeconómicos y ecológicos para priorizar los lagos e identificar técnicas de gestión adecuadas¹⁵⁶. Entre las intervenciones de gestión actuales están adquisiciones y servidumbres, reducción de la escorrentía, protección de los hábitats lacustres, gestión de especies invasoras, modificación de la normativa sobre capturas y ajuste de las prioridades de repoblación¹⁵⁶. Las mejoras en la modelación de lagos y el pronóstico de florecimiento de algas nocivas, así como una mejor información sobre especies invasoras y resilientes, tienen el potencial de mejorar los esfuerzos de adaptación¹⁵⁷.

La adaptación y mitigación climática puede lograrse en parte mediante soluciones basadas en la naturaleza, lo que incluye protección y gestión de tierras naturales. Estos enfoques tienen la ventaja adicional de proporcionar beneficios sociales, ecosistémicos y económicos^{158, 159}. Desde 1980, el Medio Oeste ha sufrido daños económicos por valor de entre \$49,000 y \$109,000 millones (ajustados al Índice de Precios al Consumidor [Consumer Price Index, CPI] en dólares de 2022) debido a las inundaciones¹⁶⁰, y se proyecta que las pérdidas aumenten con el cambio climático¹⁶¹. Los terrenos inundables naturales pueden reducir los daños causados por las inundaciones y ofrecer una relación costo-beneficio de hasta 5 a 1¹⁶². Además, un aumento del 10 % de la superficie de humedales en la cuenca del río Mississippi podría reducir la carga de nitrógeno en el Golfo de México en más de un 40 %¹⁶³. Además, las estrategias climáticamente inteligentes en tierras agrícolas (Figura 24.4)¹⁶⁴ pueden informar beneficios colaterales a los ecosistemas del Medio Oeste.

También crece el entusiasmo por las soluciones climáticas naturales, diseñadas específicamente para aumentar el almacenamiento de carbono o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la conservación, la restauración y la mejora de la gestión de la tierra^{165, 166, 167, 168}. Algunos bosques del Medio Oeste ya se gestionan para aumentar el almacenamiento de carbono¹⁶⁹ y hay mucho margen para la expansión de estas prácticas en la región (KM 7.2, 8.3). Se prevé que los cambios que se están produciendo en el clima y la atmósfera aceleren el crecimiento de los pastizales de la región, lo que, dependiendo de cómo se gestionen, podría aumentar su almacenamiento de carbono¹⁷⁰. Históricamente, las extensas turberas de la región han secuestrado carbono, pero gran parte de este carbono ya ha sido liberado por el drenaje de los humedales^{171, 172}.

El potencial de mitigación a largo plazo de los ecosistemas del Medio Oeste presenta grandes fuentes de incertidumbre relacionadas con los factores de riesgo provocados por el clima, como incendios, sequía y plagas¹⁶⁵; las compensaciones derivadas del aumento de la respiración microbiana del suelo¹⁷³; y las pérdidas de carbono almacenado en las turberas inducidas por el calentamiento¹⁷⁴.

Las naciones tribales han realizado considerables progresos en materia de adaptación, incluida la colaboración en la orientación, las evaluaciones de vulnerabilidad y la implementación (KM 21.4; Capítulo 16)^{132, 144, 175}. Las estrategias de adaptación varían según las naciones tribales y sus valores. Por ejemplo, un ser puede ser un sustituto adecuado de otro, como los abedules en vez de los arces azucareros para la extracción de sirope; sin embargo, los seres que están estrechamente ligados a la identidad cultural de una nación tribal (p. ej., el arroz silvestre) no pueden ser sustituidos¹⁴⁵. Por lo tanto, las estrategias de adaptación de esos seres podrían significar colaborar y establecer relaciones con tribus y agencias fuera de las tierras tradicionales de

recolección y de los límites jurisdiccionales^{132, 145}. La inclusión del conocimiento y la lengua culturales puede reforzar la planificación y la implementación de la adaptación^{132, 141, 143, 144}. La orientación para incorporar esta información y los aportes tribales por parte de entidades no tribales puede servir de base para una colaboración respetuosa y recíproca^{132, 176, 177}.

Mensaje clave 24.3

Las estrategias de adaptación y mitigación climática mejoran la salud individual y comunitaria

El cambio climático tiene efectos de gran alcance sobre las vidas y los medios de subsistencia (*muy probable, confianza muy alta*), los sistemas de atención médica (*confianza alta*) y la cohesión comunitaria (*confianza alta*). Estos diversos impactos requerirán una respuesta integrada e innovadora a partir de la colaboración entre la salud pública y otros sectores, como gestión de emergencias, agricultura y planificación urbana. Debido a los prejuicios históricos y sistémicos, las comunidades de color son especialmente vulnerables a estos impactos negativos (*muy probable, confianza muy alta*). Las estrategias de mitigación y adaptación, como mayor uso de infraestructuras ecológicas, sistemas de alerta precoz contra el calor y mejora de los sistemas de gestión de las aguas pluviales, cuando se desarrollan en colaboración con las comunidades afectadas, pueden mejorar la salud individual y comunitaria (*confianza alta*).

Riesgo

La salud de las poblaciones del Medio Oeste está en riesgo por el aumento del calor extremo, las precipitaciones, la sequía y las inundaciones, junto con la reducción de la calidad del aire y el aumento de la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores y por el agua (Capítulo 15). Las lesiones físicas y las enfermedades derivadas de los peligros relacionados con el clima también pueden influir en la salud mental y reducir la calidad de vida y el funcionamiento de la comunidad a medida que se pierden o disminuyen las formas tradicionales de conexión y cultura^{178, 179}.

La exposición y la sensibilidad de un individuo al cambio climático están influidas por las condiciones de salud preexistentes, la edad y el sexo, la raza y la etnia, el acceso a los recursos y el nivel de capacidad de adaptación local^{179, 180, 181, 182}. Por lo tanto, los impactos del cambio climático sobre la salud no se distribuyen por igual entre las poblaciones. Las políticas históricas y el racismo sistémico han creado condiciones que hacen que los individuos con menores ingresos y las personas de color sean más vulnerables a los peligros relacionados con el clima (KM 15.2, 16.1)^{179, 182, 183, 184}. Las condiciones medioambientales y sociales, como viviendas viejas o deterioradas, cubierta arbórea inadecuada, infraestructuras de aguas pluviales deficientes o degradadas, mayor exposición a la contaminación del aire, acceso limitado al transporte y falta de servicios de atención médica preventiva amplifican los peligros relacionados con el clima en el Medio Oeste^{181, 183, 185}.

Impactos

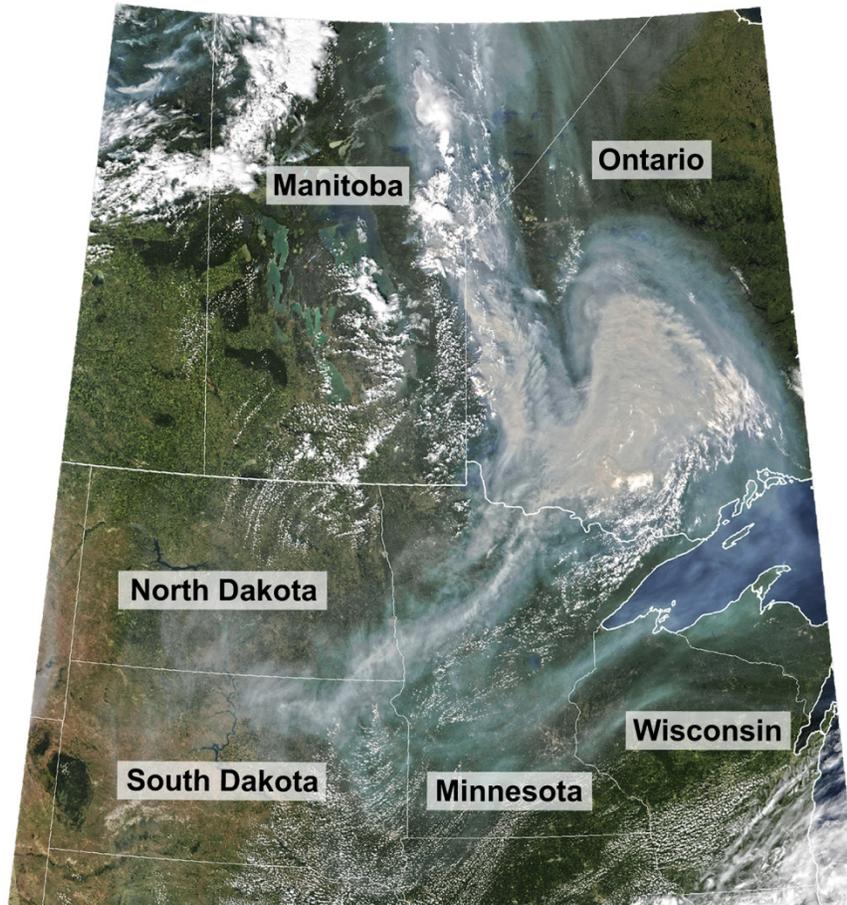
El aumento de las temperaturas puede incrementar la producción de ozono troposférico y de partículas finas (KM 14.1). La exposición a estos contaminantes del aire puede causar o agravar enfermedades cardiovasculares y respiratorias y provocar una muerte prematura^{186, 187}. Se proyecta que el calentamiento futuro en

un escenario muy alto (RCP8.5) aumente la exposición al ozono troposférico a mediados de siglo, con tasas de mortalidad atribuibles al ozono más elevadas en los condados del Medio Oeste y las Grandes Llanuras que en el resto de Estados Unidos¹⁸⁸. Esta asociación puede verse impactada por factores poblacionales, como la densidad y las tasas de mortalidad de referencia¹⁸⁸. Los esfuerzos de mitigación que reducen el ozono pueden producir grandes reducciones en los costos asociados de atención médica¹⁸⁹.

El aumento proyectado de los eventos de calor extremo en el Medio Oeste amplifica el riesgo de enfermedades respiratorias y relacionadas con el calor. Un evento de calor extremo en julio de 2012 en Wisconsin se asoció con aproximadamente \$290.3 millones (en dólares de 2022) en daños debido a pérdida de vidas, hospitalizaciones, pérdida de salarios y otros costos relacionados con la salud¹⁹⁰. A finales de siglo, se evitarían aproximadamente 1,200 muertes relacionadas con el calor extremo en un escenario intermedio (RCP4.5) en comparación con un escenario muy alto (RCP8.5)¹⁹¹.

Aunque muchos de los peores incendios forestales se producen en el oeste de los EE. UU., hay zonas dispersas de alto riesgo de incendios forestales en todo el alto Medio Oeste (Enfoque en los Incendios Forestales del Occidente)¹⁹². El humo de los incendios forestales, tanto de origen local como lejano (Figura 24.7), supone una amenaza para la salud humana al agravar afecciones cardiovasculares y respiratorias como las arritmias cardíacas y el asma^{89, 193}. Un estudio de los ingresos hospitalarios en los EE. UU. entre 2006 y 2015 descubrió que un aumento de 10 microgramos por metro cúbico en las partículas finas relacionadas con los incendios forestales en el código postal de un hospital se asociaba con un aumento cercano al 3 % en la probabilidad de ingreso en una unidad de cuidados intensivos¹⁹⁴. En comparación con otras áreas censales de los EE. UU., esta asociación fue más consistente en los códigos postales del Medio Oeste. Esto puede deberse a la mayor población de esta región en comparación con otras regiones del estudio o a la falta de comportamientos de protección personal¹⁹⁴. Con base en proyecciones climáticas futuras muy altas (RCP8.5) e intermedias (RCP4.5), muchos condados del Medio Oeste experimentarán una mayor exposición al humo de incendios forestales¹⁹⁵.

Impactos del humo de los incendios forestales en el Medio Oeste



El humo de los incendios forestales, tanto de origen local como lejano, amenaza la salud humana.

Figura 24.7. Esta imagen satelital muestra el humo de incendios forestales procedentes de Canadá descendiendo sobre el norte del Medio Oeste el 11 de julio de 2021. Créditos de la imagen satelital: Joshua Stevens, NASA Earth Observatory, utilizando datos de VIIRS de NASA EOSDIS LANCE, GIBS/Worldview y the Joint Polar Satellite System (JPSS).

El aumento de las temperaturas en primavera y otoño está provocando un incremento de los números de polen, que puede empeorar las alergias, el asma y otras afecciones respiratorias (KM 14.4)^{196,197}. Para 2050, se proyecta que el aumento del polen de roble provoque un incremento anual del 7 % en las visitas a las salas de emergencias relacionadas con el asma en el Medio Oeste en un escenario muy alto (RCP8.5), frente al 2 % en un escenario intermedio (RCP4.5)¹⁹⁸. En particular, cuando los individuos sensibles están expuestos simultáneamente a alérgenos y contaminantes atmosféricos, las reacciones respiratorias pueden agravarse¹⁹⁹. Las poblaciones negra, hispana e indígena tienden a estar desproporcionadamente expuestas a la contaminación del aire¹⁸¹ y tienen las tasas más altas de asma y de muertes y hospitalizaciones relacionadas con el asma en Estados Unidos²⁰⁰.

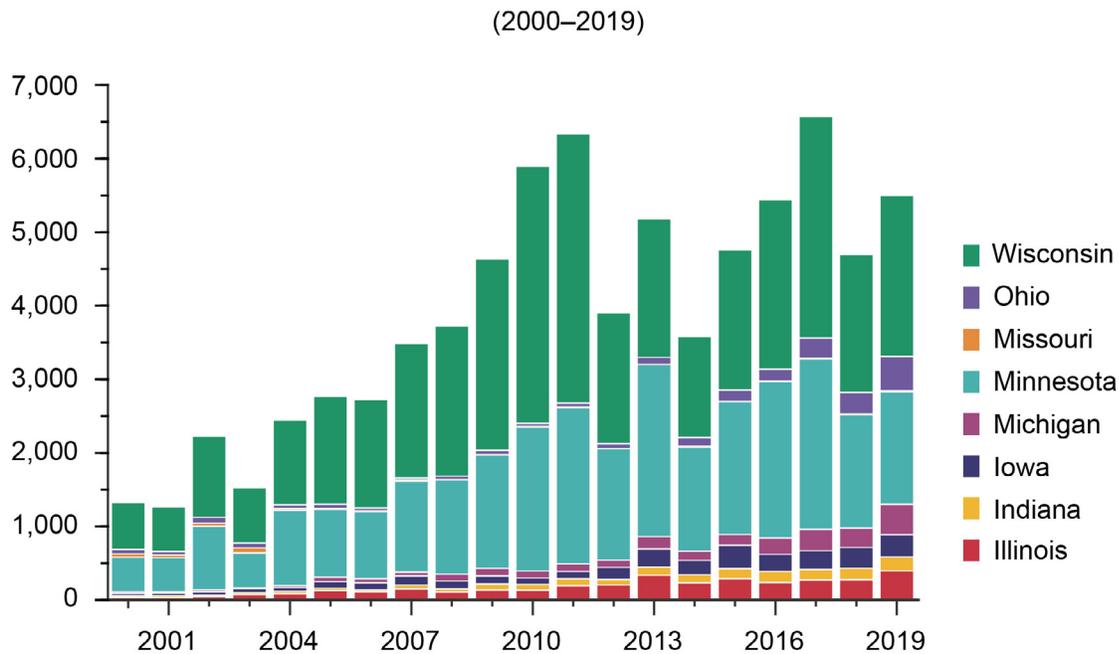
La cantidad de precipitación caída en el 1 % de los eventos más intensos aumentó significativamente (45 %) en el Medio Oeste entre 1958 y 2021 (Figura 2.8a). En un nivel de calentamiento global de 3.6 °F (2 °C), se proyecta que la intensidad de las precipitaciones extremas aumente entre un 10 % y un 15 % y quizás más de un 20 % en algunas zonas (Figura 2.12). Los problemas de salud pública relacionados con las inundaciones en el Medio Oeste incluyen ahogamientos y lesiones, exposición al moho o a patógenos transmitidos por

el agua, pérdidas económicas y presión fiscal, pérdida de empleo, estrés mental, interrupción de servicios médicos esenciales y desplazamiento de la comunidad^{179, 184, 201, 202}.

El aumento de las precipitaciones extremas está poniendo a prueba los sistemas de aguas pluviales en paisajes urbanos y rurales del Medio Oeste (KM 24.5)^{164, 201}. El desbordamiento de las aguas residuales amenaza las aguas superficiales y las redes de distribución de agua y aumenta la exposición a patógenos transmitidos por el agua²⁰¹. Para mediados de siglo, se proyecta que los cambios en las precipitaciones aumenten la tasa de enfermedades gastrointestinales entre los niños debido a la contaminación del agua potable²⁰³. En un escenario muy alto (RCP8.5), se proyecta que algunos hogares del Medio Oeste que dependen de pozos privados para obtener agua potable, la mayoría de los cuales se encuentran fuera de las zonas urbanas, corran un mayor riesgo de contaminación por nitratos debido a las fuertes lluvias y las inundaciones²⁰⁴.

El aumento de las temperaturas, sobre todo en invierno, y el incremento de las precipitaciones contribuyen a la propagación geográfica de vectores portadores de enfermedades (p. ej., garrapatas y mosquitos) hacia y a través del Medio Oeste^{205, 206}. La enfermedad de Lyme, causada por la bacteria *Borrelia burgdorferi*, es la enfermedad transmitida por vectores más prevalente en Estados Unidos y ahora es endémica en el Medio Oeste (Figura 24.8)²⁰⁷. Los costos de salud relacionados con la enfermedad de Lyme son considerables. Un estudio estimó que en 2012, los costos relacionados con la salud del tratamiento de la enfermedad de Lyme en Michigan, que en ese momento no era un estado de alta incidencia, fue de aproximadamente \$9 millones (en dólares de 2022)¹⁹⁰. La especie de garrapata *Amblyomma americanum*, relacionada con la erliquiosis y otras enfermedades graves, ya se ha reportado en el alto Medio Oeste, y las proyecciones indican una considerable expansión potencial a lo largo de este siglo²⁰⁸.

Número de casos de la enfermedad de Lyme en la región Medio Oeste por estado (2000-2019)



La incidencia de la enfermedad de Lyme ha aumentado en todo el Medio Oeste.

Figura 24.8. El gráfico muestra los informes anuales de incidencia de la enfermedad de Lyme en todo el Medio Oeste entre 2000 y 2019. Factores como el aumento de las temperaturas, el incremento de las precipitaciones, los inviernos más cálidos y el cambio en el uso de la tierra han contribuido a incrementar la incidencia de la enfermedad de Lyme en toda la región. Créditos de la figura: University of Minnesota Climate Adaptation Partnership, NOAA NCEI y CISS NC.

Las temperaturas invernales más leves y los cambios en los patrones de precipitaciones también están aumentando el riesgo de arbovirus transmitidos por mosquitos como el dengue, la chikunguña, el zika, la fiebre amarilla y el virus del Nilo Occidental²⁰⁹. Para 2050, se proyecta que zonas como el valle del Ohio registren aproximadamente 99-201 casos anuales del virus del Nilo Occidental en un escenario intermedio (RCP4.5) o 112-231 casos anuales en un escenario muy alto (RCP8.5)²¹⁰.

El estrés asociado a los desastres climáticos está impactando la salud mental de los habitantes de la región central de los EE. UU.^{179, 211}, y se espera que aumente a medida que se incremente la frecuencia de los eventos extremos. El trauma causado por un desastre, como perder el hogar, el trabajo o los medios de subsistencia o verse desplazado de la propia comunidad, puede contribuir a la depresión crónica, la ansiedad y el trastorno de estrés postraumático^{212, 213}. Además, las personas pueden sufrir la pérdida de conexiones sociales, ser testigos de cómo se hace daño a las personas y se destruyen paisajes y enfrentarse a un futuro incierto, todo lo cual puede desencadenar o intensificar los trastornos mentales adversos^{178, 214}. Los agricultores y otras personas que dependen de la agricultura para su subsistencia están particularmente en riesgo^{212, 215, 216}. Muchos habitantes de las zonas rurales del Medio Oeste ya experimentan obstáculos para utilizar servicios de atención médica²¹⁷, incluidos servicios de salud mental^{218, 219}.

Resiliencia climática para mejorar la salud

Sin esfuerzos para reducir las emisiones y promover la resiliencia climática, el Medio Oeste experimentará un aumento de las muertes, lesiones y enfermedades relacionadas con el clima y una disminución

del bienestar mental^{220, 221}. Además, dado que estos resultados de salud están vinculados a determinantes sociales y medioambientales clave de la salud, se espera que alteren el bienestar de la comunidad, con costos y consecuencias para los medios de subsistencia, las conexiones sociales y culturales, la educación, el transporte y el acceso a servicios esenciales^{178, 182, 221, 222}. Las disparidades en salud, relacionadas con la raza, la etnia, la edad y los ingresos, están vinculadas a una distribución desigual de estos resultados de salud relacionados con el clima a nivel individual y de población^{179, 184}.

Las acciones y las inversiones para reducir los impactos sobre la salud y la comunidad relacionados con el clima, como aumento de la cubierta arbórea, programas de climatización, mejora de la gestión de las aguas pluviales, sistemas de alerta temprana sobre el calor y la salud y educación sobre el clima y los servicios climáticos culturalmente relevantes (Recuadro 24.1) pueden producir múltiples beneficios para la salud individual y comunitaria, al tiempo que ayudan a promover una adaptación al clima más equitativa^{182, 223, 224, 225, 226, 227}. Disponer de datos, servicios técnicos y herramientas suficientes sobre los riesgos para la salud relacionados con el clima, las disparidades raciales y socioeconómicas y los determinantes socioambientales de la salud contribuiría a aumentar la gestión efectiva de los riesgos emergentes y anticipados relacionados con el clima y la salud^{182, 204, 227}. Por ejemplo, los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (Centers for Disease Control, CDC) han presentado un marco para la colaboración intersectorial que identifica una amplia gama de recursos para reducir los riesgos para la salud relacionados con el clima.

Los esfuerzos de liderazgo del sector de gestión de emergencias en el Medio Oeste para abordar las amenazas climáticas para la salud individual y comunitaria destacan el importante papel de este sector en la planificación de la adaptación^{220, 228, 229}. El aumento de la frecuencia de los eventos extremos está incrementando la necesidad de más recursos para apoyar la preparación y respuesta ante desastres, especialmente para las comunidades vulnerables^{182, 228, 230}.

Recuadro 24.1. Recursos educativos del Medio Oeste

El Medio Oeste cuenta con una rica y creciente oferta de educación y servicios formales e informales sobre el clima a disposición de educadores y gerentes de recursos de todas las edades y procedencias. Estos esfuerzos ayudan a construir una sociedad informada y receptiva al clima y conectan con los impactos, así como con las actividades de adaptación y mitigación que se analizan a lo largo de este capítulo. Con base en el marco para la enseñanza de Ciencias en la educación desde kínder hasta 12.º grado (K-12) del Consejo Nacional de Investigación (National Research Council, NRC)²³¹, educadores de todo el país crearon la Nueva Generación de Estándares Científicos (Next Generation of Science Standards, NGSS), que incluye la ciencia climática contemporánea²³². La incorporación de estos estándares varía en el Medio Oeste. Illinois, Iowa y Michigan han adoptado la NGSS, mientras que otros han desarrollado sus propios estándares basados en el marco de la NRC²³³. En respuesta, los educadores han creado nuevos planes de estudios y actividades sobre el clima para los estudiantes de K-12 (p. ej., Muhich y Rood 2022²³⁴). Inversiones federales recientes, como la creación del Centro Científico de Adaptación al Clima del Medio Oeste²³⁵, aumentan la investigación y la divulgación sobre el clima en toda la región: conectan con más comunidades y desarrollan una adaptación climática y una comunidad de prácticas más sólidas. Desde la publicación de la Cuarta Evaluación Nacional del Clima en 2018, han aumentado los esfuerzos coordinados entre los profesionales de extensión, que ayudan a traducir la investigación climática en práctica para ayudar a las comunidades rurales y urbanas a prepararse y responder al cambio climático. Estas y muchas otras entidades universitarias, tribales y privadas colaboran para expandir la amplitud y el alcance de la educación y los servicios climáticos en todo el Medio Oeste.

Mensaje clave 24.4

Las infraestructuras ecológicas y las soluciones de inversión pueden abordar los costosos impactos del cambio climático

El aumento de las temperaturas y las precipitaciones extremas ya están poniendo a prueba las viejas infraestructuras y se prevé que afecten el transporte de superficie, la navegación fluvial y la red eléctrica (*probable, confianza media*). Se espera que los cambios en la sincronización y la intensidad de las precipitaciones interrumpen el transporte a lo largo de los principales ríos y aumenten las inundaciones crónicas (*probable, confianza alta*). Las infraestructuras ecológicas y las inversiones públicas y privadas pueden mitigar pérdidas, aliviar el calor y ofrecer otras formas de adaptar el entorno construido a un clima cambiante (*confianza media*).

Riesgo

Las infraestructuras del Medio Oeste, como presas, puentes, carreteras, instalaciones de aguas residuales y sistemas de generación y distribución de energía, necesitan reparaciones²³⁶, con unos costos estimados para modernizar estos sistemas que ascienden a \$7,547 (en dólares de 2022) en promedio per cápita en todo el Medio Oeste. Los cambios proyectados en las precipitaciones y las temperaturas aumentan el riesgo de fracaso y el costo. Aunque el Medio Oeste ha tenido numerosos desastres por inundaciones declaradas a nivel estatal y federal, el riesgo de pérdidas debido a eventos de inundaciones urbanas e interiores recurrentes y subregistradas aumenta a medida que aumenta la frecuencia de eventos de precipitaciones intensas. La fluctuación del nivel del agua dificulta la navegación eficiente de bienes y servicios a través de los ríos de la región y los Grandes Lagos.

Impactos

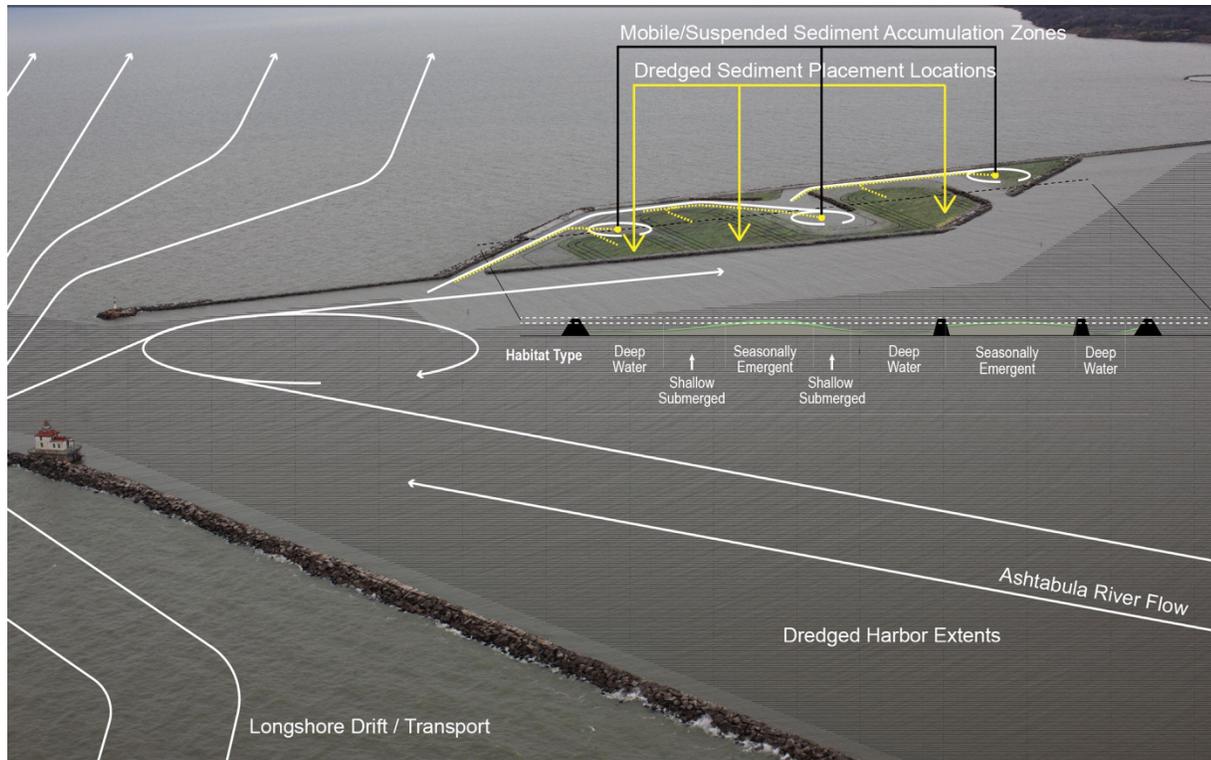
El interés por los impactos del cambio climático en las infraestructuras ha aumentado considerablemente en la última década²³⁷. Aunque se han realizado mejoras, las calificaciones recientes basadas en la capacidad, el estado, el financiamiento, las necesidades futuras, las operaciones y el mantenimiento, la seguridad pública, la resiliencia y la innovación en los estados del Medio Oeste varían de C a D+²³⁶. Se necesitan reparaciones significativas en el transporte de superficie, las aguas residuales y pluviales, las presas, los puertos y la red energética. Se espera que los aumentos proyectados de la temperatura y las precipitaciones más intensas en un escenario muy alto (RCP8.5) incrementen los costos asociados al ferrocarril y las carreteras (que ascenderán a cientos de miles de millones de dólares anuales en 2090), con reducciones significativas de estas estimaciones en un escenario intermedio (RCP4.5)²³⁸. Por ejemplo, se espera que el aumento proyectado de la temperatura incremente la anchura de las grietas causadas por las sales de deshielo en los puentes de hormigón armado²³⁹.

El transporte comercial de bienes y servicios a lo largo de los principales ríos (ríos Mississippi, Missouri y Ohio; KM 24.5), controlado en gran medida por un sistema de esclusas y presas, está en riesgo por el aumento de las precipitaciones extremas. Los eventos de gran caudal reducen el tráfico en los sistemas fluviales, que puede limitarse al funcionamiento diurno o cesar por completo. Durante los eventos de bajo caudal, los canales se reducen y pueden necesitar dragado. Estos extremos hidrológicos aumentan los costos y provocan retrasos en la entrega de productos básicos como alimentos y fertilizantes. A lo largo del cauce principal del río Ohio, se proyectan aumentos en el caudal máximo de primavera (marzo) y descensos en el caudal mínimo de otoño (octubre) para 2070-2099 en los escenarios alto (informe especial sobre escenarios de emisiones [Special Report on Emissions Scenarios, SRES] A1B) y muy alto (SRES A2), con hasta un 35 % de cambio esperado en relación con 1952-2011²⁴⁰. Si no se realizan ajustes coordinados en el

monitoreo, las descargas de agua y las comunicaciones a lo largo del río, se esperan importantes interrupciones del flujo de tráfico y del volumen de mercancías transportadas.

El transporte fluvial es el medio de transporte más eficiente en términos de carbono y combustible, especialmente en comparación con el ferrocarril y el camión²⁴¹. La fluctuación del nivel de las aguas de los Grandes Lagos, unida a las diversas condiciones ecológicas y geofísicas, crea entornos costeros únicos que requieren estrategias de financiamiento y construcción estrechamente vinculadas a las condiciones ecológicas, económicas y sociales locales. En el período 1998-2013 se registraron algunos de los niveles de agua más bajos de la historia de los Grandes Lagos, mientras que en la década de los años 20 de este siglo se han registrado algunos de los más altos de la historia²⁴². Los puertos de los Grandes Lagos (Figura 24.9) están situados en las intersecciones vitales de los sistemas ecológicos, culturales y de infraestructuras, y las operaciones portuarias intentan servir a estos sistemas de valores que se traslapan y, a veces, entran en conflicto^{243, 244, 245}. En algunos casos, los puertos se están encargando de la restauración ecológica, así como de la protección, la gestión de la propiedad y la rehabilitación industrial urbana, tipos de esfuerzos que pueden fomentar oportunidades industriales, bienestar urbano y salud ecológica. Un buen ejemplo de ello es la iniciativa “More Than a Port” (Más que un puerto) de Toledo²⁴⁶. Otro ejemplo es la iniciativa plurianual “Healthy Port Futures” (Futuro de los puertos saludables), respaldada por el Fondo para la Protección de los Grandes Lagos. Este proyecto reimagina cómo pueden funcionar los puertos para mejorar la salud ecológica y social de la comunidad y el ecosistema circundantes a través de la gestión de sedimentos, así como a través de las formas en que informa el diseño y la restauración de paisajes públicos en hábitats críticos cercanos a la costa en toda la región.

Creación de humedales de uso beneficioso para puertos saludables



El diseño innovador de infraestructuras costeras, como el puerto de Ashtabula, permite que el entorno construido preste servicios sociales y medioambientales.

Figura 24.9. La imagen muestra una vista general del puerto de Ashtabula, Ohio, donde se ha llevado a cabo un proyecto de creación de humedales por parte del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos con el apoyo de Healthy Port Futures. Este proyecto, que trabaja con el caudal del río Ashtabula hacia el lago Erie, fue uno de los primeros intentos en los Grandes Lagos de establecer un sistema de humedales parcialmente abiertos con material de dragado reutilizado. Este diseño permite una perturbación ocasional, ecológicamente necesaria, que fomentará la complejidad de los humedales al tiempo que permite una importante conexión hidrológica con la costa cercana. La figura destaca las zonas de colocación de material (líneas amarillas continuas) y de movimiento y acumulación de sedimentos (líneas blancas continuas, incluidos los sedimentos transportados de forma natural a lo largo de la costa). Los sedimentos que se acumulan en los canales de los humedales se depositan en los lugares de colocación de sedimentos dragados (líneas amarillas discontinuas) cada dos o tres años. De este modo, el proyecto puede emplear un enfoque de gestión adaptativa y responder a los éxitos y retos que puedan surgir. El proyecto creará diversos tipos de hábitats, incluidas aguas profundas, zonas sumergidas poco profundas, zonas emergidas estacionalmente y las zonas adyacentes de aguas abiertas (hábitats indicados por el sombreado beige claro y verde). El proyecto construido difiere levemente de lo que se muestra aquí. Adaptado de Burkholder *et al.* 2022²⁴⁷.

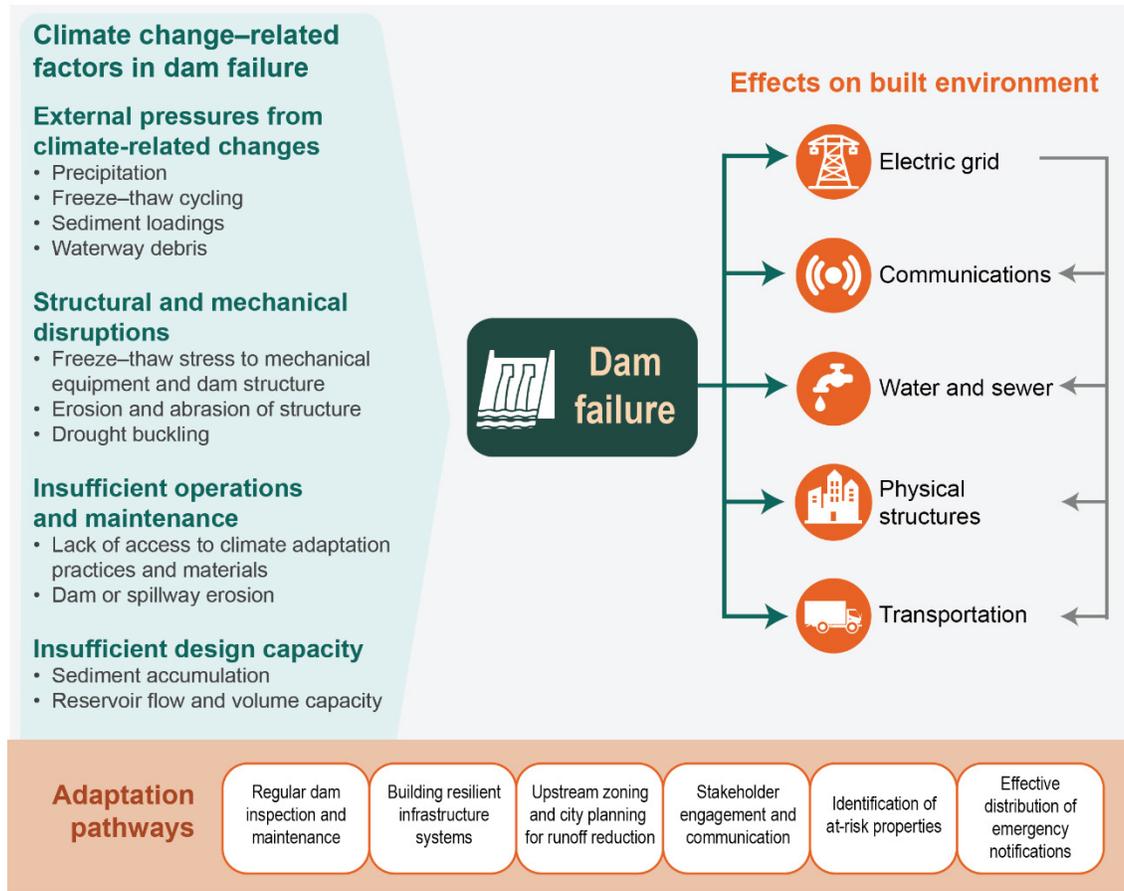
Una red energética envejecida, combinada con el alcance y la sincronización de una transición hacia diferentes fuentes de generación de energía, crea incertidumbre sobre el impacto del cambio climático en la red misma. Se prevé que el aumento de la temperatura del aire, las precipitaciones y la intensidad y frecuencia de los incendios forestales y las tormentas alteren la eficiencia y el funcionamiento de la red, incluidas las capacidades máximas y las tasas de interrupción de las líneas de transmisión, los transformadores y las subestaciones²⁴⁸. El cambio climático reducirá la capacidad de transmisión de los EE. UU. entre el 2 % y el 8 % durante los períodos de máxima demanda hasta 2100 en una variedad de escenarios (de bajo [RCP2.6] a muy alto [RCP8.5]). Las reducciones promedio de la capacidad de las líneas de transmisión en verano podrían oscilar entre el 2 % y el 6 % según los mismos escenarios a mediados de siglo, siendo el Medio Oeste el que experimentaría las mayores reducciones²⁴⁹. Se proyecta que las averías en las infraes-

estructuras de transmisión, incluidas las causadas por fallas mecánicas y subidas imprevistas de la corriente eléctrica, sean más frecuentes²⁴⁸. Dado el fuerte impulso hacia las energías renovables y la electrificación de todos los sistemas, incluido el transporte, no está claro si la red actual podrá hacer frente a los cambios en curso y anticipados en la generación y distribución de energía.

La producción de energías renovables en el Medio Oeste ha crecido más del 275 % en la última década²⁵⁰, lo que ha reducido las emisiones de carbono del sector energético, aunque menos que en otras regiones. El crecimiento de la inversión en energías renovables está contribuyendo a la economía del Medio Oeste. En Iowa, el interés público, unido a la inversión pública y privada, ha convertido al estado en el segundo productor de energía eólica del país y líder nacional en capacidad de megavatios per cápita. En el condado de Adair, Iowa, las inversiones de MidAmerican Energy Company han permitido instalar dos grandes parques eólicos que, en conjunto, producirán 550 megavatios de capacidad a la red y proporcionarán empleos bien remunerados²⁵¹. Sin embargo, el alcance del crecimiento de la energía solar y eólica en el Medio Oeste se ve limitado por un conjunto fragmentario de leyes y ordenanzas estatales y locales sobre el uso de la tierra que prohíben o regulan la ubicación de los proyectos de generación de energía solar y eólica²⁵².

Illinois, Iowa, Missouri, Wisconsin y Minnesota están en alto riesgo de mayores daños por inundaciones fluviales²⁵³. De las casi 92,000 presas inventariadas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, el tiempo de duración promedio es de 61 años, un período en el que muchas presas requieren reparaciones costosas, y el 75 % están clasificadas como de alto potencial de peligro. Las presiones externas forzadas por el clima interactúan de forma compleja, y provocan efectos en el entorno construido (Figura 24.10). El aumento de las precipitaciones extremas estresa las infraestructuras anticuadas y agrava el riesgo que suponen las presas²⁵⁴; desde 2018, se han producido 30 fallas o conatos de fallas de presas en todo el Medio Oeste.

Factores relacionados con el cambio climático en la falla de presas



Los factores relacionados con el cambio climático contribuyen a la falla de presas, con impactos en cascada sobre el entorno construido.

Figura 24.10. El gráfico muestra las causas que contribuyen a la falla de presas relacionadas con el cambio climático, los efectos de primer orden de la falla de presas en el entorno construido y las vías de adaptación. Los sistemas de presas pueden experimentar impactos relacionados con el cambio climático de forma independiente o paralela y estos impactos pueden tener efectos en cascada. Los daños en las infraestructuras de transporte, electricidad, agua y comunicaciones pueden limitar la capacidad de una comunidad para acceder a servicios de salud. Los daños a las infraestructuras, la tierra y el entorno construido pueden impactar negativamente las empresas y la economía locales. Las vías de adaptación proporcionan una base para que las comunidades aborden el riesgo de las presas desde diversos puntos de vista del sistema. Créditos de la figura: MITRE, University of Pennsylvania, American Society of Adaptation Professionals y The Ohio State University.

El aumento de las precipitaciones extremas (Figura 2.8) impacta negativamente la propiedad, la salud y la seguridad públicas y los sistemas de transporte. Las comunidades urbanas y rurales están en riesgo por el aumento proyectado de la frecuencia y la intensidad de eventos de precipitaciones extremas. Incluso cuando los eventos no se clasifican como desastres estatales o federales, las comunidades y los hogares experimentan daños materiales por inundaciones de sótanos, impactos de salud por desbordamientos del alcantarillado e interrupciones del tráfico por los daños causados por las tormentas^{179, 255}. Se prevé que el aumento de declaraciones de desastre estatales y federales sea cada vez más frecuente. Los datos de seguimiento de desastres meteorológicos y climáticos de miles de millones de dólares de la NOAA ofrecen ahora un análisis detallado de los desastres que alcanzan este impacto de costo, pero los eventos de menor envergadura son difíciles de evaluar¹⁶⁰.

Alejarse de las zonas afectadas por el desastre es más difícil para las personas con bajos ingresos que para las poblaciones más ricas^{256, 257, 258}. Tanto los desastres de miles de millones de dólares como los de menor escala han provocado daños materiales individuales y, en algunos casos, pérdida total. La historia de la reparación de edificios después de repetidos desastres ha ocasionado casos en los que las estructuras se han reconstruido más de 30 veces con un costo cercano a 100 veces el valor de la propiedad²⁵⁹. Entre enero de 1989 y agosto de 2019, más de 18,000 estructuras experimentaron pérdidas crónicas en Ohio, Iowa, Illinois y Missouri²⁶⁰. Las pérdidas repetitivas tienden al alza debido al aumento de tormentas extremas e inundaciones en toda la región. Algunas comunidades del Medio Oeste se enfrentan a la reubicación debido al aumento proyectado de las fuertes precipitaciones y al mayor riesgo de inundaciones. La retirada controlada, o reubicación de la comunidad —trasladar a toda una comunidad fuera de peligro—, se analiza a menudo como medida de adaptación costera, pero se aplica en el Medio Oeste desde hace décadas. Algunos ejemplos, como la ciudad de Valmeyer, Illinois y la reubicación de la Bad River Band del Lago Superior Chippewa en Odanah, Wisconsin, ofrecen lecciones sobre las ventajas y los inconvenientes de la reubicación inducida por las inundaciones. Una reubicación equitativa y efectiva se beneficia de la coordinación de docenas de jurisdicciones y de un financiamiento sustancial y, a menudo, lleva años conseguirla²⁵⁹. Estos esfuerzos de reubicación pueden alterar las relaciones sociales y las instituciones²⁶¹. Como se describe en el Recuadro 20.1, para que los programas de reubicación tengan éxito y sean equitativos se requiere una participación sólida de la comunidad y un reconocimiento abierto de los múltiples factores que impulsan la migración, lo que incluye las condiciones medioambientales, económicas y de gobernanza.

Financiamiento e inversiones innovadoras

El financiamiento federal reciente procedente de la Ley de Inversión en Infraestructuras y Empleo está impulsando el financiamiento a los gobiernos estatales y locales para apoyar mejoras y reparaciones de infraestructuras que llevan mucho tiempo retrasadas. Hasta marzo de 2023, se han invertido o anunciado más de \$36,000 millones (en dólares de 2022) en financiamiento para proyectos de infraestructuras en el Medio Oeste, con un promedio del 15.5 % del financiamiento dirigido a proyectos de clima, energía y medioambiente²⁶². Junto con esta inyección de dinero público, el panorama de la inversión en infraestructuras está cambiando, con la inversión privada, los bonos de impacto medioambiental (environmental impact bonds, EIB) y otras herramientas de financiamiento que se utilizan en la región. Un EIB es un instrumento de financiamiento que permite a inversores privados aportar capital inicial para un proyecto piloto o para ampliar un proyecto ya existente, con la meta de alcanzar un conjunto de resultados medioambientales. Algunas localidades han combinado planteamientos innovadores en materia de infraestructuras, incluidas las infraestructuras ecológicas, con nuevos modelos de financiamiento como los EIB o las asociaciones público-privadas. El Distrito Metropolitano de Alcantarillado de Milwaukee (Milwaukee Metropolitan Sewer District, MMSD) está usando un planteamiento innovador de financiamiento y construcción que constituye un ejemplo de adaptación proactiva al clima. El MMSD redujo el número anual de eventos de desbordamiento del alcantarillado combinado de 50-60 a principios de la década de los años 90 del siglo XX a 2.3 en 2019. Mediante una asociación público-privada basada en la comunidad, el MMSD pretende ahora añadir 20 millones de galones adicionales de capacidad de captura de infraestructuras ecológicas de aguas pluviales (green stormwater infrastructure, GSI) más allá de la capacidad actual de 40 millones de galones. El proyecto permitirá la inversión pública y privada para apoyar a las empresas locales y lograr enormes beneficios de infraestructura ecológica para 2026²⁶³. Otros municipios están implementando las GSI, y se calcula que las inversiones privadas en Ohio, Wisconsin, Minnesota, Illinois e Indiana pueden apoyar más de mil millones de dólares de GSI²⁶⁴. Además de aprovechar la inversión privada, algunos municipios están combinando el financiamiento de múltiples fuentes públicas, incluso de diferentes agencias y a diferentes escalas de gobierno (federal y estatal) para financiar totalmente los proyectos. En el caso del proyecto de mitigación de inundaciones de la cuenca hidrográfica de Bee Branch, en Dubuque, Iowa se han aplicado ocho fuentes

de financiamiento federales y tres estatales a este proyecto de \$250 millones (no se indica el año de los dólares)²⁶⁵.

La colocación y el diseño cuidadosos de la infraestructura ecológica proporcionan beneficios que van más allá de la reducción de las inundaciones, como la reducción del efecto isla de calor urbano y el alivio de los residentes de la ciudad durante las olas de calor. Las infraestructuras ecológicas, como aumento de vegetación, sistemas de captación de aguas pluviales como drenajes sostenibles (zonas vegetales que concentran y mueven las aguas pluviales a la vez que filtran los residuos y la contaminación) y estanques de detención, así como espacios verdes abiertos, pueden reducir significativamente las temperaturas y canalizar el flujo natural de aire, lo que potencia el efecto refrescante de las infraestructuras ecológicas²⁶⁶.

Mensaje clave 24.5

La gestión de los extremos es necesaria para minimizar el impacto en la calidad y cantidad del agua

Los cambios en la cantidad y calidad del agua relacionados con el clima están aumentando los riesgos para la salud de los ecosistemas, la producción adecuada de alimentos, los usos de las aguas superficiales y subterráneas y las actividades recreativas (*confianza alta*). El aumento proyectado de las sequías, las inundaciones y las escorrentías en la cuenca del río Mississippi y en los Grandes Lagos impactará negativamente los ecosistemas debido al aumento de la erosión, la proliferación de algas nocivas y la expansión de especies invasoras (*probable, confianza alta*). Agencias federales y estatales y organizaciones no gubernamentales están cooperando en los esfuerzos de adaptación relacionados con el caudal, la calidad del agua y otros asuntos relacionados con el agua (*confianza alta*).

Riesgo

El cambio climático está afectando la calidad y cantidad del agua en el Medio Oeste, así como las prácticas de gestión relacionadas con la salud de los sistemas humanos y naturales²⁶⁷. Tanto en la cuenca del río Mississippi como en la de los Grandes Lagos, el cambio climático ha impactado arroyos, ríos y lagos, todos ellos vitales para las comunidades urbanas, rurales y tribales. Fuentes de agua potable, pozos privados y fuentes de riego agrícola están en riesgo. Los cambios observados en la hidrología incluyen aumentos en la variabilidad de los niveles de los lagos, la evaporación y las temperaturas del agua, junto con precipitaciones más intensas²⁶⁸, incluida la nieve de efecto lacustre, y una menor duración de la capa de nieve y hielo. Estos cambios impactan la producción de alimentos, las empresas, las industrias, el turismo y la recreación. Los sistemas acuáticos ecológicamente sensibles de los Grandes Lagos están en riesgo debido a los cambios de temperatura de los lagos y a las especies invasoras (KM 24.2)²⁶⁹.

Impactos

Sistema fluvial del Mississippi

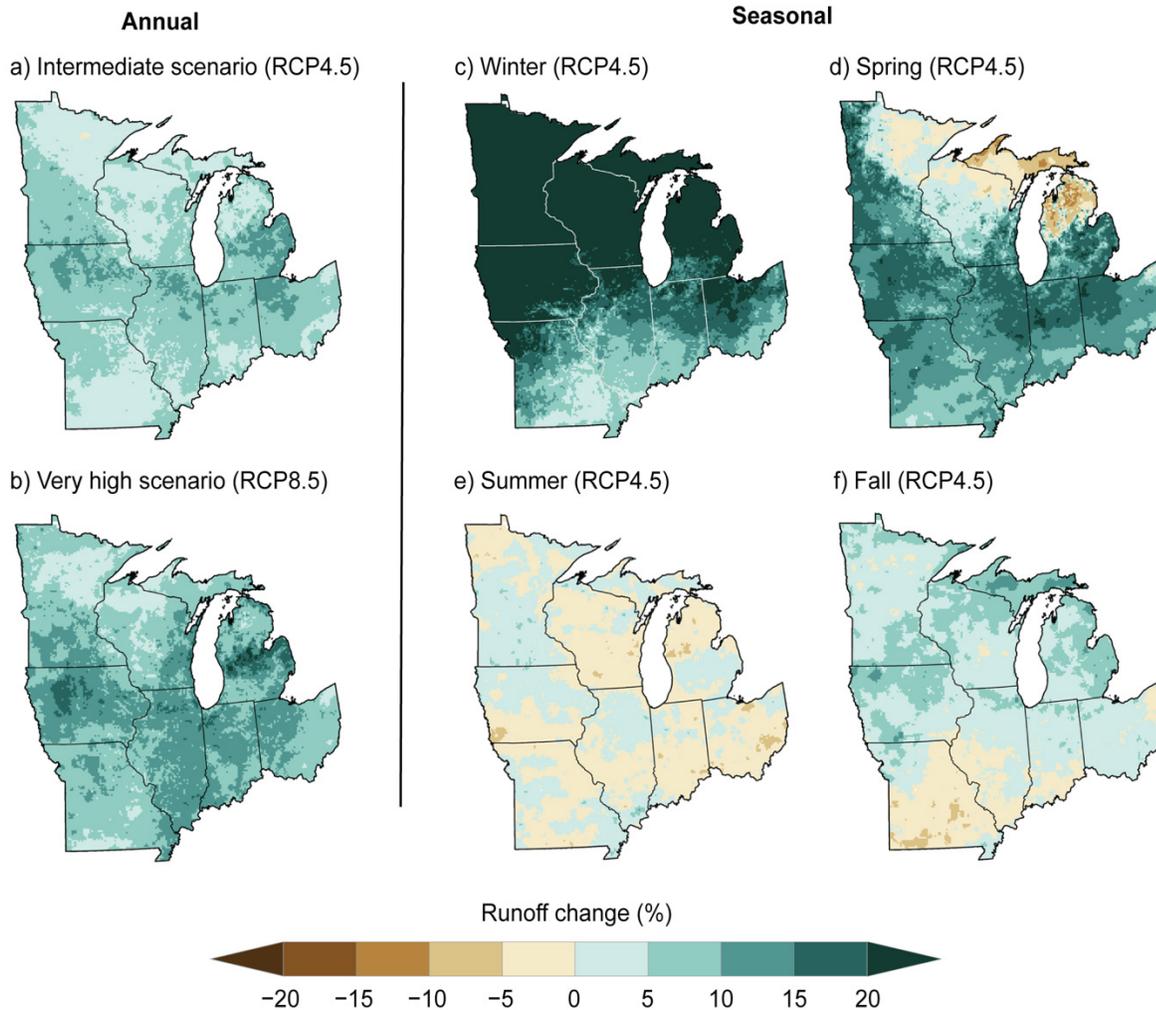
El río Ohio, la parte alta del río Mississippi y la parte baja del río Missouri son susceptibles de sufrir inundaciones y sequías con base en los cambios proyectados en las precipitaciones, la evapotranspiración y la humedad del suelo (Capítulo 4). Las precipitaciones han aumentado en las décadas recientes (Capítulo 2) con una variabilidad más extrema y cambios rápidos entre períodos húmedos y secos (Figura 24.1). Las proyecciones en una variedad de escenarios (bajo [SSP1-2.6], intermedio [SSP2-4.5] y muy alto [SSP5-8.5]) indican

futuros aumentos de las precipitaciones anuales del 0.3 % al 1.5 % por década en el Medio Oeste oriental y del 0.2 % al 0.5 % en el Medio Oeste occidental¹⁵. Se proyecta un aumento de las precipitaciones en invierno y primavera, mientras que las de verano y otoño serán más variables¹⁵.

La escorrentía acumulada ha aumentado en las décadas recientes²⁴⁰, y se proyecta que siga aumentando hasta mediados de siglo (Figura 24.11), lo que provocará un aumento de las inundaciones fluviales en las cuencas del Ohio, del alto Mississippi y de partes del Missouri. Los períodos prolongados de aumento de la escorrentía acumulada han impactado negativamente los ecosistemas y el comercio, y se proyecta que sigan haciéndolo.²⁴⁰ Los descensos observados en la duración del invierno han reducido las nevadas en todo el Medio Oeste²⁷⁰, con impactos negativos para el turismo de invierno dependiente de la nieve en el Medio Oeste y los Grandes Lagos (KM 24.2)¹⁷⁸. Para finales de siglo, las proyecciones indican reducciones en la frecuencia y el tamaño de las tormentas de nieve y en los totales equivalentes de agua nieve²⁷¹; estaciones de nieve más cortas; y menos eventos de nevadas intensas²⁷².

Cambios proyectados en la escorrentía estacional y anual acumulada

(2036–2065 compared to 1991–2020)



Los cambios proyectados en la escorrentía local acumulada provocarán una mayor susceptibilidad a las inundaciones en invierno y primavera, con un mayor potencial de sequía repentina en verano.

Figura 24.11. Los mapas muestran los cambios proyectados en la generación anual aproximada acumulada de escorrentía local en cuadrícula (denominada escorrentía acumulada) en los escenarios intermedio (RCP4.5) y muy alto (RCP8.5) (a, b) y la escorrentía estacional aproximada acumulada en un escenario intermedio (RCP4.5) (c-f). La escorrentía acumulada se define como la capacidad cuadrículada, celda por celda, del paisaje de generar un exceso de agua para una posible escorrentía fluvial aguas abajo utilizando el modelo de superficie terrestre de Capacidad de Infiltración Variable (Variable Infiltration Capacity, VIC). La escorrentía acumulada se desarrolló utilizando escenarios modelados de la Fase 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados y el modelo hidrológico de la VIC. Se proyecta que la escorrentía acumulada aumente anualmente en todo el Medio Oeste entre 2036 y 2065 en comparación con 1991-2020 (mostrado en cambios porcentuales). Se prevé un aumento de la escorrentía acumulada en toda la región en invierno y en todas las zonas excepto en los Grandes Lagos del Norte en primavera y en el sur del Medio Oeste en otoño. Se proyecta que la escorrentía acumulada en verano sea más variable. El resultado de los aumentos proyectados (y en verano, tanto aumentos como disminuciones) de la escorrentía acumulada será un aumento del estrés sobre los ecosistemas, el entorno construido, los recursos naturales e hídricos y la agricultura. Créditos de la figura: NOAA NWS, NOAA NCEI y CISS NC.

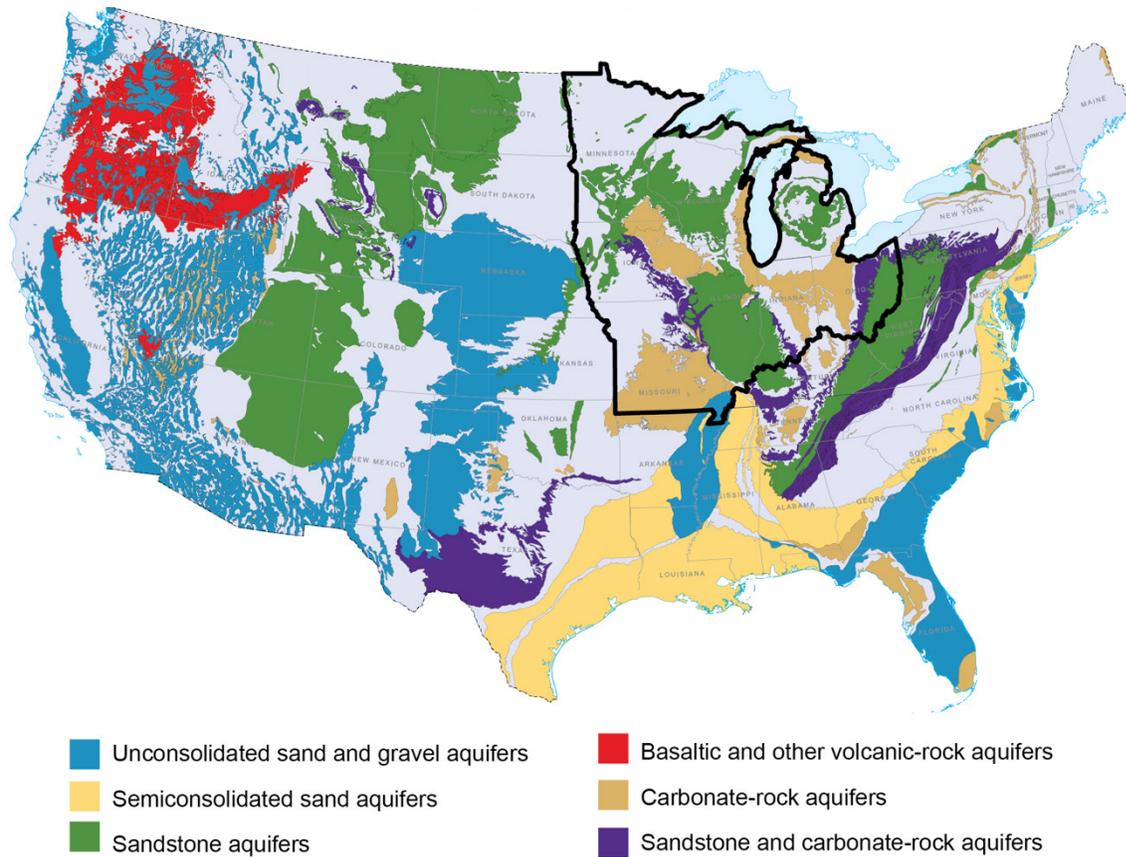
Las sequías del Medio Oeste se desarrollan en respuesta a déficits de precipitaciones o a temperaturas y evapotranspiración extremadamente altas (KM 4.1). En las décadas recientes, la evapotranspiración se ha

convertido, y se espera que siga siendo, en el principal factor de sequía^{273, 274}, especialmente en el Medio Oeste oriental²⁷⁵. Las deficiencias en las precipitaciones siguen siendo el principal motor del aumento de la sequía en el suroeste del Medio Oeste²⁷⁶.

El almacenamiento de aguas subterráneas es importante para la gestión de los recursos hídricos, incluidos los permisos de aguas residuales, el suministro de agua y las pesquerías. Se proyecta que la recarga de las aguas subterráneas sea variable en el Medio Oeste²⁷⁷, con desequilibrios hídricos²⁸ resultantes de los cambios en las precipitaciones y la evapotranspiración. Se prevé que la falla de los pozos privados aumente durante las sequías, ya que las capas freáticas descienden con el aumento del riego y del uso del agua.

La vulnerabilidad a la escasez de agua y a la calidad del agua depende, en parte, de la fuente primaria de uso del agua y del agua potable de un lugar determinado (acuíferos o aguas subterráneas profundas frente a aguas superficiales o aguas subterráneas poco profundas; Figura 24.12). Por lo tanto, las sequías tendrán impactos diferentes según la fuente. En el caso de las aguas superficiales, la disminución de la escorrentía estival (Figura 24.11) puede reducir la calidad del agua y el caudal de los arroyos²⁷⁸. Los acuíferos, por su parte, son más resilientes a las transiciones hidrológicas rápidas, pero siguen viéndose impactados por las condiciones de sequía a largo plazo²⁷⁸. Se proyecta que las precipitaciones aumenten en todas las estaciones, mientras que la escorrentía aumentará en la estación fría y será más variable en la estación cálida (Figura 24.11). La combinación del calentamiento de las temperaturas y la mayor variabilidad de la escorrentía estival sugiere un mayor riesgo de sequía para las personas, los cultivos, el ganado y los ecosistemas de toda la región²⁴⁰. Al mismo tiempo, se espera que el aumento de eventos de precipitaciones y de escorrentía (Figura 24.11; KM 4.1) incremente las inundaciones molestas (KM. 24.4) y vertidos de aguas residuales con el consiguiente desprendimiento de olores, así como el deterioro de la calidad del agua debido al aumento de los vertidos incontrolados. Se prevé que el aumento de la escorrentía de aguas pluviales perjudique las infraestructuras envejecidas y provoque un aumento de los costos de los nuevos sistemas (KM 24.4). Así, los gerentes urbanos y rurales están implementando las mejores prácticas para la calidad del agua en diversos paisajes, desde la agricultura (Figura 24.4) hasta los bosques (Figura 24.5) y el entorno construido (KM 24.4)¹⁶⁴.

Mapa de los acuíferos de los EE. UU.



La vulnerabilidad a las alteraciones en la calidad y cantidad del agua varía según el lugar, dependiendo de la fuente primaria de agua para beber y otros usos.

Figura 24.12. El atlas de aguas subterráneas de Estados Unidos del Servicio Geológico de Estados Unidos (United States Geological Service, USGS) ofrece un resumen completo de los recursos de aguas subterráneas del país e incluye la ubicación, la geografía, la geología y las características hidrológicas de los principales acuíferos en los EE. UU. Las aguas superficiales y subterráneas (acuíferos) son las principales fuentes de agua en el Medio Oeste y los Grandes Lagos. Las zonas resaltadas en color representan los acuíferos de aguas subterráneas, mientras que las zonas en gris representan las aguas superficiales como fuente principal. La línea negra delimita la región Medio Oeste. Los cambios en los patrones de precipitaciones y escorrentía impactan la disponibilidad de agua y las capas freáticas de forma diferente en el Medio Oeste, dependiendo de si la fuente principal de agua es superficial o acuífera. Para obtener más información sobre los acuíferos fuera de los EE. UU. contiguos, visite el [Atlas de aguas subterráneas de Estados Unidos del USGS](#) y [Principales acuíferos de Estados Unidos](#). Adaptado de USGS 2021²⁷⁹.

El florecimiento de algas nocivas (harmful algal blooms, HAB) y su impacto en la calidad del agua, la producción de alimentos, las actividades recreativas, el turismo y los ecosistemas sigue siendo motivo de gran preocupación en algunas zonas del Medio Oeste. El aumento observado de las precipitaciones^{15, 268} está provocando, y se proyecta que siga provocando, aumentos de las cargas de sedimentos y nutrientes en el sistema del río Mississippi. Sin embargo, las investigaciones han sido inconsistentes sobre si la severidad y la magnitud de las HAB en el Medio Oeste han aumentado, se han mantenido constantes o han disminuido^{280, 281}.

Grandes Lagos

Los Grandes Lagos son el mayor ecosistema de agua dulce de la Tierra²⁸², y están entre los lagos que más rápido se calientan del mundo²⁸³. El Acuerdo sobre la Calidad del Agua de los Grandes Lagos entre Estados

Unidos y Canadá estableció un conjunto de nueve indicadores para evaluar la salud del ecosistema de los Grandes Lagos (Tabla 24.1). Aunque se están realizando esfuerzos para restaurar y proteger los Grandes Lagos, este ecosistema está en riesgo por los cambios de estacionalidad (cambios en la sincronización de la formación y destrucción de la estratificación de la temperatura) y por los cambios en la capa de hielo, las temperaturas máximas del verano y los niveles de oxígeno, que tienen impactos importantes en las pesquerías y los hábitats de los lagos²⁸². Las especies invasoras y las amenazas a la biodiversidad son las mayores preocupaciones de los Grandes Lagos²⁸². Las especies acuáticas invasoras (KM 24.2) pueden degradar la calidad del agua al disminuir su claridad, concentrar toxinas y alterar los flujos de nutrientes dentro de la red trófica. La calidad del agua de los Grandes Lagos en una amplia gama de métricas oscila actualmente entre regular y buena²⁸².

Tabla 24.1. Evaluación del estado de los Grandes Lagos 2022

La Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) y Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá trabajan conjuntamente para cumplir la misión del Acuerdo sobre la Calidad del Agua de los Grandes Lagos. Como parte de este esfuerzo, cada tres años se publica el informe sobre el estado de los Grandes Lagos. La siguiente tabla detalla el estado de los Grandes Lagos utilizando 10 indicadores. Las evaluaciones abarcan toda la cuenca y suelen variar de un lago a otro. Las métricas enumeradas se sintetizan para determinar el estado y las tendencias de cada indicador. Las definiciones de “deficiente”, “regular” y “bueno” son cuantitativas, varían según los indicadores y están documentadas en el informe (ECCC y EPA, 2022)²⁸². No se proporcionan evaluaciones de estado para los indicadores de tendencias climáticas. Adaptado de ECCC y EPA 2022²⁸².

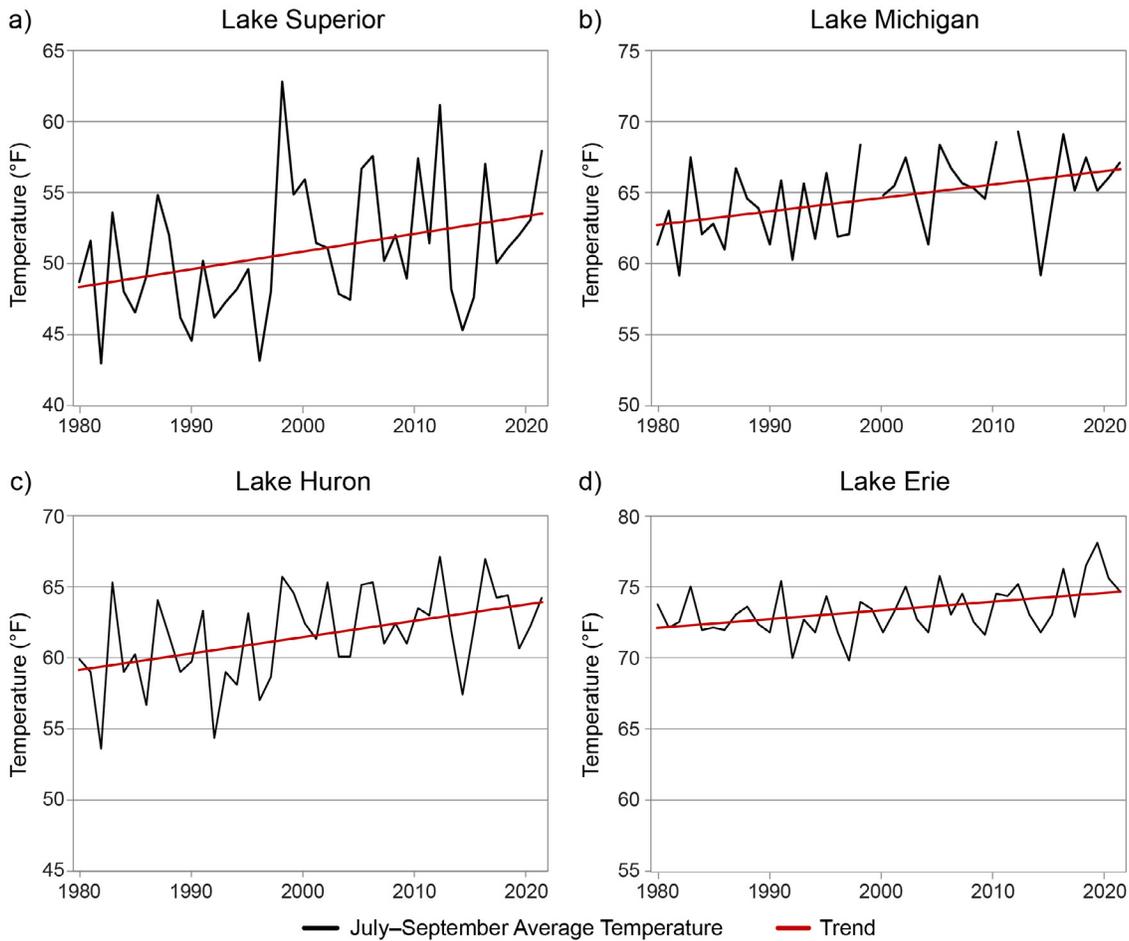
Indicador de los Grandes Lagos	Métrica	Estado	Tendencia
Agua potable	Estándares de los EE. UU. y Canadá sobre el agua potable (microbianos, radiológicos y químicos)	Bueno	Sin cambios
Playas	Ensayos sobre <i>E. coli</i>	Bueno	Sin cambios-mejorando
Consumo de pescado	Bifenilos policlorados (Polychlorinated biphenyls, PCB) y mercurio en la carne de pescado	Regular	Mejorando
Productos químicos tóxicos	Concentraciones de compuestos (PCB, mercurio, éteres difenílicos polibromados y otros) en sedimentos, agua, peces enteros y huevos de gaviota argéntea	Regular	Sin cambios-mejorando
Hábitat y especies	Condiciones generales de salud y hábitat y disponibilidad de invertebrados, peces, anfibios, aves, plantas y conectividad	Regular	Sin cambios
Nutrientes y algas	Concentración de nutrientes, florecimiento de algas nocivas, <i>Cladophora</i>	Regular	Sin cambios
Especies invasoras	Tasa de introducción	Bueno	Sin cambios
Especies invasoras	Impacto de las especies acuáticas invasoras	Deficiente	En deterioro-invariable
Aguas subterráneas	Concentraciones de cloruro/nitrato	Bueno	Indeterminado

Impactos en las cuencas hidrográficas	Cubierta forestal y terrestre, costas endurecidas, calidad del agua de los afluentes, población humana	Regular	Sin cambios
Tendencias climáticas	Nivel de los lagos	N/A	Invariable y en aumento
Tendencias climáticas	Temperatura del agua superficial	N/A	En aumento
Tendencias climáticas	Cubierta de hielo	N/A	En disminución

Los Grandes Lagos han experimentado una importante variabilidad del nivel del agua en décadas recientes, con niveles bajos entre 1998 y 2013 y niveles altos desde 2015. Esta variabilidad se debe en parte a cambios en la estacionalidad y la intensidad de las precipitaciones (incluida la nieve de efecto lago), al aumento de la temperatura de los lagos, a la evaporación de los lagos y a la pérdida de la capa de hielo²⁸⁴. El doble factor estresante del aumento de las precipitaciones y de la temperatura del aire se traduce en una mayor variabilidad interanual del nivel de los lagos²⁸⁵. Sin embargo, las complejas interacciones entre los lagos, la tierra y la atmósfera hacen que el sistema sea difícil de modelar, por lo que las proyecciones a largo plazo del suministro neto de la cuenca y de los niveles de los lagos presentan una incertidumbre alta⁶. Estos cambios climáticos dificultan las prácticas actuales de gestión del agua de los Grandes Lagos, que son similares a las del resto del Medio Oeste, con el reto añadido de los acuerdos sobre aguas transfronterizas con Canadá (Capítulo 4). Por ejemplo, el bajo nivel del agua limita la producción de energía de las centrales hidroeléctricas y plantea riesgos para el transporte marítimo²⁸⁶ y los puertos (KM 24.4), mientras que los niveles altos provocan la erosión del litoral y la pérdida de hábitats costeros²⁸⁷ y comunidades inundadas. Las costas también están en riesgo de afrontar eventos de vientos fuertes durante los episodios de niveles altos de agua²⁸⁸.

La temperatura del agua y del aire de los Grandes Lagos aumenta desde 1980²⁸² (Figura 24.13). Las temperaturas estivales de las aguas superficiales registradas por las boyas costeras han mostrado aumentos casi uniformes en la parte superior de los Grandes Lagos (Superior, Michigan y Huron). El lago Erie muestra tasas de calentamiento más lentas, mientras que no hay datos suficientes de Ontario para hacer una determinación. En los cinco lagos se espera un aumento de la temperatura superficial²⁸⁹. Aunque aún existe incertidumbre sobre la variabilidad estacional y espacial, se espera que el aumento de las temperaturas provoque la pérdida de hábitats adecuados para los peces²⁹⁰. La forma en que el calentamiento de la superficie afectará el resto de la columna de agua y el impacto global en el ecosistema no está tan bien caracterizado. El aumento de la temperatura del agua va acompañado de una disminución de la capa de hielo invernal²⁹¹, que se observa en los cinco lagos y tiene impactos en cascada sobre los ecosistemas y la cultura (KM 24.2; Figura 24.6).

Tendencias de la temperatura estival del agua superficial de los Grandes Lagos (1980–2021)



Las temperaturas de las aguas superficiales de los lagos Superior, Michigan, Huron y Erie han aumentado en verano desde finales de la década de los años 70 del siglo XX.

Figura 24.13. Los gráficos muestran las temperaturas superficiales del agua en verano (julio-septiembre) para el período 1980-2021 observadas desde boyas en las aguas costeras de los lagos Superior, Michigan, Huron y Erie. Los lagos superiores (Superior, Michigan y Huron; **a-c**) muestran tendencias similares hacia temperaturas más cálidas en un contexto de fuerte variabilidad interanual, mientras que el lago Erie (**d**) muestra una tendencia más débil, pero positiva. Para facilitar la comparación de las tendencias, se utiliza un intervalo de temperatura de 25 °F para el eje vertical de los cuatro gráficos, con temperaturas reales que varían en los distintos lagos. Créditos de la figura: University of Minnesota Duluth, NOAA NCEI y CISSSS NC.

Las HAB que se producen en partes de los cinco Grandes Lagos, incluidos el oeste del lago Erie y partes del lago Superior, afectan a las personas por la mala calidad del agua y las advertencias de no bañarse ni ir a la playa. Las HAB también impactan negativamente hábitats y pesquerías. Se espera que los aumentos proyectados de la escorrentía anual acumulada (Figura 24.11), que elevan el riesgo de contaminación por fuentes difusas (contaminantes naturales y de origen humano que son transportados desde muchas fuentes por las precipitaciones y la escorrentía) y las tendencias de calentamiento en los Grandes Lagos (Figura 24.13), promuevan el crecimiento de las HAB hasta mediados de siglo. Aunque la dirección del cambio de las HAB en todo el Medio Oeste es inconsistente^{280, 281}, las tendencias recientes en el oeste del lago Erie muestran un aumento significativo de la extensión y la severidad de las HAB en los últimos 20 años²⁸².

Gestión de la complejidad hidrológica y extremos

Los gobiernos e instituciones federales, estatales y locales trabajan con las comunidades en iniciativas para adaptarse al cambio climático o atenuar sus impactos. Por ejemplo, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos se ha asociado con agencias federales, organizaciones no gubernamentales e instituciones en el proyecto sobre el cambio climático en la cuenca del río Ohio²⁴⁰. La meta era crear un plan integral para abordar los cambios en los caudales e identificar las adaptaciones necesarias para hacer frente a los retos de cantidad, calidad y gestión del agua relacionados con la normativa, las actividades recreativas, la navegación y los hábitats acuáticos (p. ej., pesquerías). En 2022 se inició un estudio similar con la NOAA y la Universidad de Minnesota para la cuenca alta del río Mississippi. Además, se han completado una serie de asociaciones de resiliencia climática en todo el Medio Oeste y los Grandes Lagos²⁹².

Como parte del Sistema Nacional Integrado de Información sobre Sequías, el Sistema de Alerta Temprana de Sequías del Medio Oeste se estableció en 2016 para avanzar en el monitoreo, el pronóstico y la preparación para la sequía en la región y mejorar la capacidad regional para responder a la sequía^{293, 294}.

Para adaptarse a las escorrentías extremas, las asociaciones sólidas entre los sectores público y privado pueden ayudar a formular las mejores prácticas de gestión para reducir las cargas de nutrientes y sedimentos en arroyos y ríos. La NOAA está llevando a cabo esta tarea a través del proyecto de apoyo a la toma de decisiones sobre el riesgo de escorrentía²⁹⁵. Además, colabora con los departamentos estatales de agricultura de algunas zonas del Medio Oeste y de los Grandes Lagos, como Minnesota, Wisconsin, Michigan y Ohio, así como Nueva York. La herramienta de ayuda a la toma de decisiones sobre el riesgo de escorrentía de la NOAA proporciona a la comunidad agrícola información de pronóstico puntual sobre cuándo aplicar los fertilizantes. La mayoría de las aplicaciones de fertilizantes se llevan a cabo en el Medio Oeste y los Grandes Lagos durante el invierno y la primavera, justo antes de la temporada de siembra, que es también la temporada alta de escorrentía. Un porcentaje significativo de las pérdidas totales de nutrientes y sedimentos suele producirse a partir de un pequeño número de eventos de escorrentía cada año^{296, 297}. La información proporcionada por esta herramienta permite a los agricultores tomar decisiones mejor informadas sobre cuándo aplicar estiércol y fertilizantes. La aplicación correcta de estiércol y fertilizantes reducirá el riesgo de que entren sustancias químicas en los sistemas fluviales. La reducción del exceso de sustancias químicas, incluidos el nitrógeno y el fósforo, que entran en las vías navegables es importante, ya que las cargas elevadas de nutrientes y sedimentos contribuyen a los eventos medioambientales impactantes de HAB e hipoxia (bajo nivel de oxígeno)²⁹⁷. El grupo de trabajo sobre hipoxia del río Mississippi y el Golfo de México y el Acuerdo sobre Calidad del Agua de los Grandes Lagos entre los EE. UU. y Canadá destacan la necesidad de reducir la carga de nutrientes en las cuencas hidrográficas del Mississippi y de los Grandes Lagos, debido a los crecientes impactos tanto en el sistema de salud pública como en los ecosistemas²⁹⁸.

Cuentas trazables

Descripción del proceso

Los autores de los capítulos del Medio Oeste fueron identificados y seleccionados en agosto y septiembre de 2021. La meta era crear el equipo con al menos un autor de cada uno de los estados del Medio Oeste, prestando atención a la geografía, los sistemas interconectados, el nivel de experiencia, el género y la diversidad. La selección de los autores se basó en los comentarios de la Notificación del Registro Federal, el Resumen de brechas de investigación para el Medio Oeste del Programa Estadounidense de Investigación sobre el Cambio Global (US Global Change Research Program, USGCRP) y las nominaciones de los autores, así como en los debates y las nominaciones del líder del capítulo, el autor principal de coordinación, el líder del capítulo de la agencia y el punto de contacto de la Oficina Nacional de Coordinación. Los autores se añadieron de forma iterativa, y los que aceptaron primero aportaron sugerencias adicionales para las candidaturas posteriores. Todos los autores invitados, excepto dos, aceptaron participar.

Se celebraron reuniones virtuales periódicas durante el otoño de 2021 y el Borrador de Orden Cero se finalizó en diciembre de 2021. El capítulo del Medio Oeste organizó un taller virtual de participación pública el 24 de enero de 2022. Los temas clave seleccionados fueron bien recibidos, con amplios debates y comentarios. Los autores consideraron los comentarios junto con los aportes realizados en la convocatoria pública de material técnico e incorporaron la literatura científica reciente disponible en la elaboración de los mensajes clave para el Borrador de Primer Orden. El consenso de los autores se alcanzó mediante reuniones rutinarias y con base en los comentarios de la Unidad de Apoyo Técnico (Technical Support Unit, TSU) de la NOAA; agencias federales; las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina; y los períodos de revisión de comentarios públicos. Este proceso iterativo se produjo entre el Segundo y el Cuarto Borrador de Orden, desde el invierno de 2022 hasta la primavera de 2023.

Mensaje clave 24.1

Las prácticas climáticamente inteligentes podrían compensar las interacciones climáticas complejas en la agricultura

Descripción de la base de evidencia

Existe evidencia fehaciente de que el aumento de las precipitaciones extremas, los cambios en la estacionalidad y las rápidas transiciones entre las condiciones hidrológicas están impactando negativamente las condiciones del suelo y poniendo en peligro la producción agrícola tradicional de cultivos en hilera en el Medio Oeste, aunque persiste la incertidumbre debido a las influencias climáticas locales y a las limitaciones de los datos climáticos reducidos^{12, 18}. Los estudios relacionan la pérdida de suelo y de nutrientes aplicados con el aumento de las precipitaciones, con impactos en cascada que incluyen pérdidas económicas y mayores problemas de calidad del agua. Numerosos estudios apuntan a futuras disminuciones en la producción de maíz, en combinación con sequías episódicas, y aumentos en la producción de algunos cultivos como el trigo debido a cambios en las estaciones más frías, lo que incluye primaveras más cálidas y mayores precipitaciones (p. ej., Li *et al.* 2019²). Los impactos en la ganadería de la región siguen siendo un tema poco estudiado, aunque algunos estudios han demostrado que ya se están produciendo (p. ej., Crist *et al.* 2020⁵¹). Muchos de estos estudios de impacto proyectados se basan en gran medida en un escenario muy alto (p. ej., RCP8.5), lo que limita la evaluación de toda la gama de incertidumbres.

Informes y estudios demuestran fehacientemente la importancia económica de los cultivos especializados para el Medio Oeste y su vulnerabilidad al cambio climático⁵⁶. La mayoría de los estudios realizados hasta

la fecha se centran en el impacto de los daños causados por las heladas primaverales, aunque un número limitado de estudios aborda otros impactos como el exceso de humedad, las enfermedades y la presión de las plagas. La evidencia sugiere una amplia gama de resultados futuros para los cultivos especializados con base en las especies y la ubicación de los sistemas de cultivo dentro del Medio Oeste. Los estudios sobre los impactos directos del aumento de la temperatura y la alteración de los patrones de precipitaciones en los cultivos especializados del Medio Oeste siguen siendo limitados. Cada vez hay más evidencia del impacto del cambio climático en importantes polinizadores y en la distribución de especies de insectos.

Cada vez son más los estudios que abordan el impacto de la agricultura sobre el clima, en particular la intensificación de los sistemas de cultivo y los posibles impactos del aumento del riego⁴⁶. Los impactos sobre la humedad atmosférica y los bucles de retroalimentación dentro del sistema están en curso.

Diversos estudios han relacionado, al menos en parte, el cambio climático con las pérdidas ocasionadas por los seguros de cosechas en los EE. UU. y el Medio Oeste⁷⁵. Estas pérdidas están relacionadas con la sequía y el exceso de humedad. Aumentar la resiliencia ante estos peligros forma parte de un planteamiento climáticamente inteligente. Los estudios para evaluar los beneficios específicos y otros impactos de las distintas técnicas climáticamente inteligentes están evolucionando.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Las tendencias climáticas actuales son, en algunos aspectos, contrarias a las condiciones climáticas proyectadas y difieren de las de otras regiones del país. Por ejemplo, las tendencias de calentamiento diurno en verano (máximos diarios) y la sequía no se están produciendo según lo proyectado por simulaciones de modelos anteriores. Los cambios históricos han dependido mucho más de las estaciones, y los mayores aumentos de temperatura se han producido durante las estaciones más frías y no en verano. También existe un alto grado de incertidumbre en los cambios proyectados por los modelos individuales en la intensidad y estacionalidad de las precipitaciones futuras, así como en la atribución de estas complejidades a fuentes antropogénicas. Aunque el consenso de los modelos apunta con fuerza a un aumento general de la temperatura anual, investigaciones adicionales sobre las interacciones entre la agricultura y su impacto en el clima de la región ayudarían a resolver las discrepancias estacionales. La reducción de la incertidumbre de los modelos y escenarios mejoraría la evaluación del impacto local y la toma de decisiones.

Se necesitaría información más detallada sobre los cambios proyectados en otros parámetros climáticos (p. ej., déficit de presión de vapor, humedad del suelo y eventos extremos y severos) y sobre los impactos en cultivos específicos para comprender mejor los posibles impactos en la producción agrícola y aumentar la confianza en los resultados. Esto incluye estudios más allá del maíz, la soja y el trigo, incluidos otros cultivos comerciales y especializados (p. ej., manzanas, calabazas o pepinos). La información detallada sobre los impactos secundarios del cambio climático (es decir, el aumento de insectos, de enfermedades y de la presión de la maleza sobre la producción) también es poco conocida. Los análisis de los cambios históricos en las distribuciones de las plagas agrícolas son limitados, al igual que las proyecciones de modelos de sus distribuciones futuras.

En lo que respecta a la equidad social y la justicia para la agricultura en el Medio Oeste, identificar y aumentar el compromiso con las comunidades de negros, indígenas y personas de color (Black, Indigenous, and People of Color, BIPOC) y las comunidades de bajos recursos en todo el Medio Oeste podría aumentar el intercambio de información y aportar recursos a estas comunidades para mejorar su adaptación al clima y las actividades de mitigación ya en marcha. Esto permitiría realizar una evaluación más completa e informada de los impactos y de las actividades agrícolas de adaptación y mitigación que ya se están llevando a cabo en estas comunidades. Recientemente se han realizado inversiones federales, por ejemplo, en programas del Instituto Nacional de Alimentación y Agricultura que reúnen a científicos sociales y físicos

para ayudar a aminorar esta brecha de conocimientos. Los resultados de estos nuevos proyectos podrían utilizarse en futuros informes de la Evaluación Nacional del Clima.

Aumentan las actividades de investigación sobre la capacidad de las prácticas climáticamente inteligentes para ayudar a la agricultura a adaptarse a las cambiantes condiciones climáticas y disminuir los problemas futuros. Sin embargo, sería necesario seguir investigando las posibles concesiones mutuas entre las estrategias y un conjunto diverso de resultados basados en el cultivo, la cobertura, el tipo de suelo y los cambios locales en el clima para aumentar la confianza en su uso y saber si alcanzan los resultados deseados. La investigación respalda algunas prácticas climáticamente inteligentes, pero la implementación generalizada y la interacción de diversas prácticas no se conocen bien.

Descripción de confianza y probabilidad

Con base en numerosos estudios y evidencia convergente, existe *confianza alta* en que el cambio climático esté impactando negativamente la agricultura de diversas maneras y es *probable* que ocurra. El examen de los eventos históricos de precipitaciones extremas y de las rápidas transiciones entre estados hidrológicos mediante novedosas técnicas de análisis muestra que es *probable* que estos eventos estén aumentando en número y las proyecciones muestran que es *probable* que continúen durante todo el siglo XXI. El equipo se centró en los retos, incluidas las condiciones deficientes del campo y las posibles pérdidas de cultivos, que es *probable* que acompañen a estos cambios en las condiciones hidrológicas. Aunque es *probable* que los impactos de los cultivos se basen en resultados similares en todas las escalas y métodos, la incertidumbre en los impactos específicos por especie (cultivo, insecto, etc.) conduce a *confianza media* en los resultados futuros de los cultivos en hileras y, especialmente, de los cultivos especializados. Otros cambios *probables*, como la sincronización del deshielo y las precipitaciones extremas en primavera, tendrán impactos adicionales en la ganadería de la región, y se prestó atención a la producción lechera como componente principal de la ganadería en el Medio Oeste (*confianza alta*). Las técnicas de adaptación climáticamente inteligentes ofrecen una vía potencial hacia la sostenibilidad medioambiental y económica, pero la escasa evidencia convergente y la limitada adopción hasta la fecha conducen a *confianza media* general en su capacidad para mitigar futuros retos agrícolas.

Mensaje clave 24.2

La adaptación puede aliviar las alteraciones de los ecosistemas y sus servicios

Descripción de la base de evidencia

Numerosas fuentes de literatura publicada y no oficial aportan evidencia concluyente de que el cambio climático está impactando los recursos naturales del Medio Oeste y de que estos impactos se intensificarán con el avance del cambio climático. Sin embargo, la cantidad de evidencia varía según el ecosistema, el tipo particular de cambio medioambiental y la ubicación geográfica dentro del Medio Oeste.

La evidencia sólida convergente de los estudios publicados muestra que los ecosistemas acuáticos del Medio Oeste están respondiendo al aumento de las temperaturas y a los cambios en las condiciones meteorológicas extremas^{97, 99}. Existe una cantidad moderada de evidencia que demuestra que estos sistemas están respondiendo al aumento de las precipitaciones. Varios estudios demuestran que las inundaciones y la sequía suponen un riesgo creciente para los ecosistemas acuáticos, específicamente al alterar la estructura y la dinámica de las comunidades.

La evidencia de los estudios publicados que demuestra que los ecosistemas terrestres están siendo alterados por el cambio climático es sólida en general (p. ej., Contosta *et al.* 2019¹³³), aunque la cantidad de evidencia de que cualquier tipo de ecosistema se ve afectado por cualquier cambio medioambiental es

variable. La evidencia respalda la conclusión de que los impactos han sido más pronunciados en las zonas más al norte del Medio Oeste. En general, existe evidencia inequívoca de que los ecosistemas del Medio Oeste se han visto, y seguirán viéndose, afectados por el cambio del paisaje, y muchos estudios relacionan los cambios en el funcionamiento de estos sistemas con el aumento de las temperaturas y la reducción de la capa de nieve y hielo^{133, 151}. Existe evidencia fehaciente de que estos factores climáticos han estado cambiando en el Medio Oeste.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Gran parte de la incertidumbre en torno a las respuestas de los recursos naturales del Medio Oeste al cambio climático está relacionada con las diferentes respuestas de las distintas especies, ecosistemas y ubicaciones geográficas. Muchas especies y algunos ecosistemas son objeto de pocos o ningún estudio directo, algunas variables solo se han estudiado en un lugar del Medio Oeste y las especies interactúan de formas complejas que podrían atenuar o invertir los efectos directos del cambio climático en algunos casos, todo lo cual aumenta las incertidumbres de las respuestas proyectadas al cambio climático.

Evaluar las respuestas proyectadas al cambio climático puede resultar difícil debido a los desajustes de escala con los resultados de los modelos climáticos. Por ejemplo, los arroyos son mucho más pequeños que las cuadrículas de los modelos climáticos y, como tales, requieren una reducción de escala fuera de línea. Aunque se ha hecho, no se ha cubierto la amplitud de los escenarios de la Trayectoria Socioeconómica Compartida (Shared Socioeconomic Pathway, SSP).

Existe una gran incertidumbre sobre el grado en que las comunidades humanas están adaptando sus prácticas culturales al cambio climático y sobre si las estrategias de adaptación tienen beneficios documentados. Hay estudios de casos disponibles¹⁴⁵, pero se necesita más información sobre todo el espectro de comunidades del Medio Oeste.

Descripción de confianza y probabilidad

La amplia evidencia de los estudios publicados indica que es *probable* que el cambio climático esté impactando los recursos naturales del Medio Oeste (*confianza alta*). Los estudios publicados muestran que es *probable* que las inundaciones y la sequía supongan un riesgo creciente para los ecosistemas acuáticos al alterar la estructura y la dinámica de las comunidades, aunque el acuerdo sobre las magnitudes precisas de los efectos es menos claro (*confianza media*). Numerosos estudios muestran que es *muy probable* que el aumento de las temperaturas, la alteración de las condiciones invernales y los cambios en el paisaje estén alterando los ecosistemas terrestres y limitando su capacidad de adaptación (*confianza alta*). Esto es especialmente pronunciado en los ecosistemas del norte. Cada vez hay más evidencia de que la pérdida de servicios ecosistémicos está socavando el bienestar humano, lo que provoca la pérdida de beneficios económicos, culturales y de salud (*confianza media*). Debido a la naturaleza específica del lugar y del ecosistema de la evidencia, es difícil hacer grandes generalizaciones en todo el Medio Oeste. La población está adaptando las prácticas culturales y de gestión en respuesta al cambio climático, especialmente en los lagos interiores y los sistemas forestales; muchas de estas prácticas tienen beneficios colaterales para los servicios ecosistémicos, incluida la mitigación de los cambios climáticos (*confianza baja*). Los autores evalúan con *confianza baja* debido a las brechas de conocimiento observadas en todo el Medio Oeste en relación tanto con las acciones comunitarias como con las respuestas documentadas.

Mensaje clave 24.3

Las estrategias de adaptación y mitigación climática mejoran la salud individual y comunitaria

Descripción de la base de evidencia

Existe evidencia fehaciente de que el aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones históricos de precipitaciones se están produciendo en todo el Medio Oeste y es *probable* que continúen hasta finales de siglo. El nivel de contaminantes atmosféricos, como partículas finas, ozono y polen, se asocia positivamente con el aumento de las temperaturas y existen numerosos estudios que describen la relación entre la exposición a estos contaminantes y el aumento de la morbilidad y la mortalidad^{186, 187}.

Se ha demostrado que la exposición a eventos relacionados con el clima, como el calor extremo y las inundaciones, impacte la salud y el bienestar de las comunidades del Medio Oeste, además de degradar los determinantes sociales y medioambientales de la salud^{178, 179}. Se proyecta un aumento de los eventos de calor extremo y de precipitaciones en todo el Medio Oeste. Sin embargo, existen pocas evaluaciones cualitativas detalladas que recojan y reporten información específica de las personas o comunidades impactadas, en particular sobre los efectos a corto y largo plazos de experimentar un peligro relacionado con el clima. El aumento de las precipitaciones intensas se ha relacionado con una mayor exposición a contaminantes transmitidos por el agua en los sistemas de agua potable públicos y privados del Medio Oeste^{201, 204}. Los estudios que utilizan datos de proyecciones climáticas han demostrado que los cambios en las precipitaciones estacionales relacionados con el clima aumentarán las tasas de enfermedades gastrointestinales en los niños²⁰³.

Existe evidencia fehaciente de que el aumento de las temperaturas está contribuyendo a la expansión de vectores portadores de enfermedades, como garrapatas y mosquitos, por el Medio Oeste²⁰⁷. Los modelos que utilizan proyecciones climáticas predicen que el área de distribución de muchas especies establecidas y recientemente invasoras aumentará a lo largo del siglo, lo que incrementa el riesgo de varias enfermedades zoonóticas como la enfermedad de Lyme y el virus del Nilo Occidental²⁰⁸.

El cambio climático se asocia a impactos negativos sobre la salud mental²¹¹. Sin embargo, hay pocos estudios, sobre todo basados en poblaciones del Medio Oeste, que relacionen medidas sólidas del cambio climático o eventos relacionados con el clima con diagnósticos psiquiátricos validados clínicamente.

Se ha producido un aumento sustancial en el número de evaluaciones climáticas realizadas en estados y ciudades del Medio Oeste que enfatizan la necesidad de abordar la injusticia sistémica y el racismo histórico y priorizar la equidad en la toma de decisiones sobre resiliencia climática^{32, 299, 300}. Muchos de estos informes también reconocen la necesidad de involucrar a las comunidades impactadas de forma desproporcionada en el diseño y la implementación de estrategias de resiliencia. Estas evaluaciones no forman parte de la literatura revisada por expertos y, por lo tanto, no se consideraron parte de la base de evidencia de esta sección. Sin embargo, cabe destacar que muchas evaluaciones climáticas del Medio Oeste no solo han incluido, sino que también han priorizado, estos asuntos como parte de su planificación de la resiliencia climática.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Aunque hay muchos estudios que relacionan el cambio climático con impactos en la salud y el bienestar de la comunidad, solo un pequeño número de ellos se han realizado directa o exclusivamente en poblaciones del Medio Oeste. Además, para captar la amplitud de los impactos potenciales, estos estudios podrían considerar una serie de escenarios, no solo los más altos o los peores.

Existe una brecha en la investigación que caracteriza cómo los impactos sobre la salud relacionados con el clima difieren con base en las características específicas de la población local y las realidades compartidas, en particular a través del gradiente urbano-rural y múltiples naciones tribales y como consecuencia de la creciente inmigración. Esto es especialmente cierto en el caso de determinados resultados de salud (p. ej., salud mental) y determinantes de la salud (p. ej., medios de subsistencia). Esta información sería útil para desarrollar estrategias de intervención específicas y efectivas que aborden las desigualdades existentes y el racismo histórico.

La literatura carece actualmente de estudios específicos del Medio Oeste que intenten cuantificar la carga de costos asociada a los impactos climáticos sobre la salud y los determinantes clave de la salud, como los medios de subsistencia o la seguridad de la vivienda. Así pues, no se sabe con certeza cuánto están costando a las comunidades del Medio Oeste los impactos del cambio climático en términos de lesiones, enfermedades, pérdida de empleo, daños a la propiedad, utilización de servicios de atención médica, etc.

Algunos temas emergentes en materia de clima y salud en el Medio Oeste, como la migración por motivos climáticos y los problemas de las personas con discapacidades, no se trataron debido a la falta de literatura específica sobre la región Medio Oeste. Por lo tanto, no se sabe con certeza cuáles pueden ser los impactos de salud relacionadas con estos temas ni cómo pueden distribuirse en una comunidad.

Descripción de confianza y probabilidad

Existe *confianza alta* en que el cambio climático impacte la salud y el bienestar de los individuos y las comunidades del Medio Oeste a través de una amplia gama de vías de exposición y es *muy probable* que ocurra. La literatura muestra que estas vías incluyen eventos extremos, como inundaciones, sequías, olas de calor e incendios forestales, que suponen un riesgo creciente para la salud física y mental por exposición directa. Los estudios demuestran que la exposición indirecta a través de la degradación de la calidad del aire y del agua potable amenaza los medios de subsistencia y pone a prueba los servicios de salud esenciales y los relacionados con las emergencias. Es *muy probable* que la exposición y sensibilidad de un individuo al cambio climático sea influenciada por condiciones de salud preexistentes, ingresos, raza y etnia, edad y acceso a recursos (*confianza alta*). La evidencia ilustra que las disparidades en salud vinculadas al racismo y la desigualdad de ingresos *probablemente* estén relacionadas con una distribución desigual de los resultados de salud relacionados con el clima. Las acciones e inversiones para reducir los impactos en la salud y la comunidad relacionados con el clima pueden generar múltiples beneficios para la salud, al tiempo que contribuyen a avanzar en una adaptación al clima más equitativa (*confianza alta*).

Mensaje clave 24.4

Las infraestructuras ecológicas y las soluciones de inversión pueden abordar los costosos impactos del cambio climático

Descripción de la base de evidencia

Según numerosos análisis independientes, gran parte de las infraestructuras del Medio Oeste están envejeciendo y su reparación tendrá un costo considerable (p. ej., Informe de la infraestructura de Estados Unidos de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles)²⁴⁸. Estos costos exigen nuevas formas de financiamiento, datos y conocimientos, muchos de los cuales acaban de aparecer. El déficit de infraestructuras en el Medio Oeste se articula a través de la literatura académica y recursos e investigaciones de profesionales^{236, 248}, que demuestran que las infraestructuras del Medio Oeste están envejeciendo y que su reparación tendrá un costo significativo. Estos costos requieren nuevas formas de financiamiento, datos y conocimientos, muchos de los cuales acaban de aparecer²³⁶. Existe evidencia fehaciente que demuestra que los crecientes daños

causados por las tormentas en las infraestructuras de todo el Medio Oeste impactan de manera desproporcionada a las personas con bajos ingresos y a las poblaciones BIPOC²⁵⁸. Numerosos estudios sobre la vulnerabilidad social y la capacidad de adaptación demuestran que los individuos con menor vulnerabilidad y mayor capacidad de adaptación están mejor preparados para afrontar un desastre y recuperarse de este.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Los daños causados por tormentas que no se recogen en las declaraciones de desastre son difíciles de identificar, y los desastres de tamaño medio son difíciles de cuantificar. Un método para cuantificar estos desastres de tamaño medio podría ser reportar el número total de veces que los estados del Medio Oeste declaran el estado de emergencia en respuesta a un evento meteorológico o climático. Existe una brecha en el reporte agregado y estandarizado de eventos de desastre declarados por el estado y de las pérdidas correspondientes. Otro enfoque podría consistir en calcular las pérdidas de seguros reportadas por las compañías de seguros privadas con participaciones en la región. Los datos estatales y los conjuntos de datos sobre seguros privados son accesibles, pero requieren análisis y síntesis para que puedan ser utilizados por los tomadores de decisiones. El informe de desastres meteorológicos y climáticos de mil millones de dólares de los EE. UU., elaborado por los Centros Nacionales de Información Medioambiental de la NOAA, se ha convertido en una forma habitual de comprender el creciente costo que suponen el cambio climático y los eventos extremos relacionados con él. Sin embargo, cada año se producen muchas tormentas de menor escala, que provocan daños o la destrucción de infraestructuras, la pérdida de vidas humanas y perjuicios para la salud y el bienestar de los habitantes del Medio Oeste. Una medida de estos eventos es la base de datos del Programa Nacional de Seguros de Inundación. El seguimiento de estos eventos y de su impacto económico podría permitir una distribución más efectiva y equitativa de los recursos antes y después de tormentas extremas.

La migración climática es un área de incertidumbre, pero la información es muy buscada en los ámbitos académico y público. Existe literatura y recursos sobre la reubicación de comunidades dentro de la región, pero no se dispone actualmente de literatura y evidencia sobre la migración inducida por el clima de las personas que se trasladan a la región.

Descripción de confianza y probabilidad

Existe evidencia fehaciente de que el cambio climático *probablemente* amenaza las infraestructuras construidas, sobre todo si se sigue dependiendo en gran medida del transporte convencional por carretera. La incertidumbre sobre los modos de transporte que existirán en el futuro y las tendencias inciertas hacia la electrificación ocasionan una asignación de *confianza media*. Más seguros son los impactos del aumento de las precipitaciones extremas y las transiciones entre condiciones húmedas y secas en los entornos fluviales y de los Grandes Lagos (*probable, confianza alta*). La aparición de nuevas inversiones ofrece métodos alternativos hacia el desarrollo, pero la volatilidad de la economía deja cierta incertidumbre sobre si más comunidades y empresas locales adoptarán estas herramientas (*confianza media*).

Mensaje clave 24.5

La gestión de los extremos es necesaria para minimizar el impacto en la calidad y cantidad del agua

Descripción de la base de evidencia

Existe evidencia fehaciente de que el agua del Medio Oeste y de los Grandes Lagos se ve, y seguirá viéndose, impactada por el cambio climático, con los consiguientes efectos adversos tanto para la sociedad humana

como para los ecosistemas²⁶⁷. Las tendencias de la temperatura, las precipitaciones, la escorrentía y la evapotranspiración corroboran la evidencia del cambio²⁶⁸. Además, los resultados razonablemente buenos de los modelos de escenarios climáticos en el pasado permiten confiar en las predicciones futuras.

La evidencia y los estudios eran más consistentes en el caso de la cantidad y la gestión del agua que en el de su calidad^{280, 281}. Esto se debe, en parte, a la naturaleza más compleja de la calidad del agua. Las mayores áreas de falta de acuerdo se dieron en el florecimiento de algas nocivas (harmful algal blooms, HAB) y en la forma en que los modelos basados en escenarios climáticos globales abordan la representación regional de los Grandes Lagos.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

La falta de simulaciones robustas del funcionamiento físico de los Grandes Lagos es una brecha y una incertidumbre importantes. Los procesos climáticos en la región de los Grandes Lagos son difíciles de simular debido a la complejidad de las interacciones lago-tierra-atmósfera⁶. Incluso los modelos climáticos más sofisticados de la región de los Grandes Lagos tienen representaciones físicas deficientes de los componentes hidrológicos clave que conforman el suministro neto de la cuenca de un lago (es decir, precipitación, evaporación y escorrentía)⁶. Por lo tanto, las proyecciones futuras del nivel de los lagos basadas en cambios simulados de estos componentes hidrológicos conllevan un alto grado de incertidumbre. Sin embargo, se anticipa una mayor variabilidad del nivel de las aguas en el futuro, lo que impactará todo el ecosistema (KM 24.2), los puertos (KM 24.4) y las costas^{284, 301}. Una mejor representación física de los Grandes Lagos aumentaría la confianza en la forma en que los aumentos de la temperatura del agua de los lagos (tanto de superficie como de profundidad) podrían impactar el ecosistema.

La investigación sobre las HAB en el Medio Oeste y los Grandes Lagos es contradictoria y limitada^{280, 281}. Mientras que las investigaciones han sido más concluyentes en los Grandes Lagos en cuanto al aumento de la severidad de las HAB, las investigaciones no han sido concluyentes en el Medio Oeste en cuanto a si la severidad de las HAB ha aumentado, se ha mantenido constante o ha disminuido. Las conexiones con el empedrado agrícola y los sistemas sépticos y sus impactos en las masas de agua son otras brechas de conocimientos y datos.

La investigación sobre temperatura, precipitaciones y escorrentía es mucho más exhaustiva en el Medio Oeste que la investigación sobre caudales.²⁶⁸ Los trabajos disponibles sobre los caudales a escala de grandes cuencas para evaluar los impactos climáticos son limitados. El proyecto sobre el cambio climático en la cuenca del río Ohio, del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos y la NOAA²⁴⁰, es uno de los mayores y más completos proyectos estadounidenses relacionados con el cambio climático sobre la cantidad, la calidad y la gestión de los caudales de agua en sistemas de mediana a gran escala. El Centro de Pronóstico Fluvial de la NOAA y la Universidad de Minnesota están llevando a cabo un proyecto similar en la cuenca alta del Mississippi. La realización de más proyectos hidrológicos a gran escala, por ejemplo en la cuenca del río Missouri y en los Grandes Lagos, ayudaría a comprender los cambios a gran escala en los caudales y los impactos proyectados. La ausencia de más proyectos de este tipo limita la capacidad de tener una confianza más alta en algunas áreas de la cantidad, la calidad y la gestión del agua. La combinación de la fase 5 del proyecto de intercomparación de modelos acoplados con la modelación hidrológica de la capacidad de infiltración variable es un paso en la dirección correcta.

Descripción de confianza y probabilidad

La confianza y la probabilidad se asignaron con base en la consistencia de la información de las tendencias y la investigación, combinada con las fortalezas y las debilidades de los modelos de escenarios climáticos. Para el Medio Oeste y los Grandes Lagos, hay información consistente para respaldar una *confianza alta* para las tendencias y proyecciones de las temperaturas del aire, las precipitaciones y la escorrentía, así como para los impactos en la cantidad y la calidad del agua, las prácticas de gestión del agua, la salud de

los ecosistemas, la producción de alimentos y las actividades recreativas¹⁵. Con base en la literatura y en las proyecciones, es *probable* que el aumento de la escorrentía (en todas las estaciones excepto en verano, donde se proyectan algunas disminuciones), la sequía y las inundaciones afectarán negativamente los ecosistemas a través del aumento de la erosión y la expansión de especies invasoras, y existe una *confianza alta* en que ocurra. Esto se aplica al aumento de la erosión y a la expansión de especies invasoras. En cuanto al florecimiento de algas nocivas (harmful algal bloom, HAB), la literatura y las proyecciones respaldan la *confianza alta* para la continuidad de HAB en los Grandes Lagos. Para el Medio Oeste, la confianza es menor en que el aumento de las temperaturas y las precipitaciones y la escorrentía sigan provocando cambios variables en los eventos de HAB (que aumenten, disminuyan o permanezcan sin cambios). Esto *probablemente* resulte en impactos adversos continuos en la calidad del agua y los ecosistemas. Existen numerosos ejemplos en los que agencias federales y estatales, junto con organizaciones no gubernamentales, están colaborando en esfuerzos de adaptación relacionados con el agua en el Medio Oeste (*confianza alta*).

Referencias

1. U.S. Census Bureau, 2020: Explore Census Data. U.S. Department of Commerce, U.S. Census Bureau, accessed May 5, 2023. <https://data.census.gov/>
2. Li, Y., K. Guan, G.D. Schnitkey, E. DeLucia, and B. Peng, 2019: Excessive rainfall leads to maize yield loss of a comparable magnitude to extreme drought in the United States. *Global Change Biology*, **25** (7), 2325–2337. <https://doi.org/10.1111/gcb.14628>
3. Srivastava, A., O. Yetemen, N. Kumari, and P.M. Saco, 2019: Aspect-controlled spatial and temporal soil moisture patterns across three different latitudes. In: *Proceedings of the 23rd International Congress on Modelling and Simulation*. Canberra, ACT, Australia, 1–6 December 2019, 979–985. <https://doi.org/10.36334/modsim.2019.k6.srivastava>
4. Sharma, S., D.C. Richardson, R.I. Woolway, M.A. Imrit, D. Bouffard, K. Blagrove, J. Daly, A. Filazzola, N. Granin, J. Korhonen, J. Magnuson, W. Marszelewski, S.-I.S. Matsuzaki, W. Perry, D.M. Robertson, L.G. Rudstam, G.A. Weyhenmeyer, and H. Yao, 2021: Loss of ice cover, shifting phenology, and more extreme events in Northern Hemisphere lakes. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, **126** (10), e2021JG006348. <https://doi.org/10.1029/2021jg006348>
5. Schlinger, C., O. Conroy-Ben, C. Cooley, N. Cooley, M. Cruz, D. Dotson, J. Doyle, M.J. Eggers, P. Hardison, M. Hatch, C. Hogue, K. Jacobson Hedin, C. Jones, K. Lanphier, D. Marks-Marino, D. Mosley, F. Olsen Jr., and M. Peacock, 2021: Ch. 4.2. Water. In: *Status of Tribes and Climate Change Report*. Marks-Marino, D., Ed. Institute for Tribal Environmental Professionals, Flagstaff, AZ, 98–141. <http://nau.edu/stacc2021>
6. Briley, L.J., R.B. Rood, and M. Notaro, 2021: Large lakes in climate models: A Great Lakes case study on the usability of CMIP5. *Journal of Great Lakes Research*, **47** (2), 405–418. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.01.010>
7. FAO, 2022: FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
8. NASS, 2022: Quarterly Hogs and Pigs Inventory–United States. U.S. Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/rj430453j?locale=en>
9. Angel, J.R., M. Markus, K.A. Wang, B.M. Kerschner, and S. Singh, 2020: Precipitation frequency study for Illinois. *Illinois State Water Survey Bulletin*, **75**, 130. <https://hdl.handle.net/2142/106653>
10. Baule, W.J., J.A. Andresen, and J.A. Winkler, 2022: Trends in quality controlled precipitation indicators in the United States Midwest and Great Lakes region. *Frontiers in Water*, **4**, 817342. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.817342>
11. Hayhoe, K., D.J. Wuebbles, D.R. Easterling, D.W. Fahey, S. Doherty, J. Kossin, W. Sweet, R. Vose, and M. Wehner, 2018: Ch. 2. Our changing climate. In: *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II*. Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 72–144. <https://doi.org/10.7930/nca4.2018.ch2>
12. Wilson, A.B., A. Avila-Díaz, L.F. Oliveira, C.F. Zuluaga, and B. Mark, 2022: Climate extremes and their impacts on agriculture across the eastern Corn Belt region of the U.S. *Weather and Climate Extremes*, **37**, 100467. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100467>
13. Guo, R., C. Deser, L. Terray, and F. Lehner, 2019: Human influence on winter precipitation trends (1921–2015) over North America and Eurasia revealed by dynamical adjustment. *Geophysical Research Letters*, **46** (6), 3426–3434. <https://doi.org/10.1029/2018gl081316>
14. Knutson, T.R. and F. Zeng, 2018: Model assessment of observed precipitation trends over land regions: Detectable human influences and possible low bias in model trends. *Journal of Climate*, **31** (12), 4617–4637. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-17-0672.1>
15. Almazroui, M., M.N. Islam, F. Saeed, S. Saeed, M. Ismail, M.A. Ehsan, I. Diallo, E. O'Brien, M. Ashfaq, D. Martínez-Castro, T. Cavazos, R. Cerezo-Mota, M.K. Tippett, W.J. Gutowski, E.J. Alfaro, H.G. Hidalgo, A. Vichot-Llano, J.D. Campbell, S. Kamil, I.U. Rashid, M.B. Sylla, T. Stephenson, M. Taylor, and M. Barlow, 2021: Projected changes in temperature and precipitation over the United States, Central America, and the Caribbean in CMIP6 GCMs. *Earth Systems and Environment*, **5** (1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00199-5>

16. Dahal, V., S. Gautam, and R. Bhattarai, 2018: Analysis of long-term temperature trend in Illinois and its implication on the cropping system. *Environmental Processes*, **5** (3), 451–464. <https://doi.org/10.1007/s40710-018-0306-7>
17. Ford, T.W., L. Chen, and J.T. Schoof, 2021: Variability and transitions in precipitation extremes in the Midwest United States. *Journal of Hydrometeorology*, **22** (3), 533–545. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-20-0216.1>
18. Chen, L. and T.W. Ford, 2023: Future changes in the transitions of monthly-to-seasonal precipitation extremes over the Midwest in Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 models. *International Journal of Climatology*, **43** (1), 255–274. <https://doi.org/10.1002/joc.7756>
19. Anderson, R., P.E. Bayer, and D. Edwards, 2020: Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current Opinion in Plant Biology*, **56**, 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.12.006>
20. Baldwin-Kordick, R., M. De, M.D. Lopez, M. Liebman, N. Lauter, J. Marino, and M.D. McDaniel, 2022: Comprehensive impacts of diversified cropping on soil health and sustainability. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, **46** (3), 331–363. <https://doi.org/10.1080/21683565.2021.2019167>
21. Walsh, M.K., P. Backlund, L. Buja, A. DeGaetano, R. Melnick, L. Prokopy, E. Takle, D. Todey, and L. Ziska, 2020: Climate Indicators for Agriculture. USDA Technical Bulletin 1953. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, 70 pp. <https://doi.org/10.25675/10217/210930>
22. Kucharik, C.J., T. Ramiadantsoa, J. Zhang, and A.R. Ives, 2020: Spatiotemporal trends in crop yields, yield variability, and yield gaps across the USA. *Crop Science*, **60** (4), 2085–2101. <https://doi.org/10.1002/csc2.20089>
23. Bowling, L.C., K.A. Cherkauer, C.I. Lee, J.L. Beckerman, S. Brouder, J.R. Buzan, O.C. Doering, J.S. Dukes, P.D. Ebner, J.R. Frankenberger, B.M. Gramig, E.J. Kladviko, and J.J. Volenec, 2020: Agricultural impacts of climate change in Indiana and potential adaptations. *Climatic Change*, **163** (4), 2005–2027. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02934-9>
24. English, B.C., S.A. Smith, R.J. Menard, D.W. Hughes, and M. Gunderson, 2021: Estimated economic impacts of the 2019 Midwest floods. *Economics of Disasters and Climate Change*, **5** (3), 431–448. <https://doi.org/10.1007/s41885-021-00095-2>
25. Hoell, A., T.W. Ford, M. Woloszyn, J.A. Otkin, and J. Eischeid, 2021: Characteristics and predictability of Midwestern United States drought. *Journal of Hydrometeorology*, **22** (11), 3087–3105. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-21-0052.1>
26. Byun, K., C.M. Chiu, and A.F. Hamlet, 2019: Effects of 21st century climate change on seasonal flow regimes and hydrologic extremes over the Midwest and Great Lakes region of the US. *Science of The Total Environment*, **650**, 1261–1277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.063>
27. Grady, K.A., L. Chen, and T.W. Ford, 2021: Projected changes to spring and summer precipitation in the Midwestern United States. *Frontiers in Water*, **3**, 780333. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.780333>
28. Zhou, W., L.R. Leung, and J. Lu, 2022: Seasonally dependent future changes in the U.S. Midwest hydroclimate and extremes. *Journal of Climate*, **35** (1), 17–27. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-21-0012.1>
29. Hatfield, J.L., M.V.K. Sivakumar, and J.H. Prueger, Eds., 2018: *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*. Vol. 60. American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr60>
30. Hatfield, J.L., L. Wright-Morton, and B. Hall, 2018: Vulnerability of grain crops and croplands in the Midwest to climatic variability and adaptation strategies. *Climatic Change*, **146** (1–2), 263–275. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1997-x>
31. Kimm, H., K. Guan, C.H. Burroughs, B. Peng, E.A. Ainsworth, C.J. Bernacchi, C.E. Moore, E. Kumagai, X. Yang, J.A. Berry, and G. Wu, 2021: Quantifying high-temperature stress on soybean canopy photosynthesis: The unique role of sun-induced chlorophyll fluorescence. *Global Change Biology*, **27** (11), 2403–2415. <https://doi.org/10.1111/gcb.15603>
32. Wuebbles, D., J. Angel, K. Petersen, and A.M. Lemke, 2021: An Assessment of the Impacts of Climate Change in Illinois. University of Illinois at Urbana-Champaign. https://doi.org/10.13012/b2idb-1260194_v1
33. Partridge, T.F., J.M. Winter, E.C. Osterberg, D.W. Hyndman, A.D. Kendall, and F.J. Magilligan, 2018: Spatially distinct seasonal patterns and forcings of the U.S. warming hole. *Geophysical Research Letters*, **45** (4), 2055–2063. <https://doi.org/10.1002/2017gl076463>

34. Alter, R.E., H.C. Douglas, J.M. Winter, and E.A.B. Eltahir, 2018: Twentieth century regional climate change during the summer in the central United States attributed to agricultural intensification. *Geophysical Research Letters*, **45** (3), 1586–1594. <https://doi.org/10.1002/2017gl075604>
35. Lark, T.J., S.A. Spawn, M. Bougie, and H.K. Gibbs, 2020: Cropland expansion in the United States produces marginal yields at high costs to wildlife. *Nature Communications*, **11** (1), 4295. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18045-z>
36. Mueller, N.D., E.E. Butler, K.A. McKinnon, A. Rhines, M. Tingley, N.M. Holbrook, and P. Huybers, 2016: Cooling of US Midwest summer temperature extremes from cropland intensification. *Nature Climate Change*, **6** (3), 317–322. <https://doi.org/10.1038/nclimate2825>
37. Nikiel, C.A. and E.A.B. Eltahir, 2019: Summer climate change in the Midwest and Great Plains due to agricultural development during the twentieth century. *Journal of Climate*, **32** (17), 5583–5599. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-19-0096.1>
38. Wang, S., S. Di Tommaso, J.M. Deines, and D.B. Lobell, 2020: Mapping twenty years of corn and soybean across the US Midwest using the Landsat archive. *Scientific Data*, **7** (1), 307. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00646-4>
39. Butler, E.E., N.D. Mueller, and P. Huybers, 2018: Peculiarly pleasant weather for US maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **115** (47), 11935–11940. <https://doi.org/10.1073/pnas.1808035115>
40. Partridge, T.F., J.M. Winter, L. Liu, A.D. Kendall, B. Basso, and D.W. Hyndman, 2019: Mid-20th century warming hole boosts US maize yields. *Environmental Research Letters*, **14**, 114008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab422b>
41. 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>
42. Jägermeyr, J., C. Müller, A.C. Ruane, J. Elliott, J. Balkovic, O. Castillo, B. Faye, I. Foster, C. Folberth, J.A. Franke, K. Fuchs, J.R. Guarin, J. Heinke, G. Hoogenboom, T. Iizumi, A.K. Jain, D. Kelly, N. Khabarov, S. Lange, T.-S. Lin, W. Liu, O. Mialyk, S. Minoli, E.J. Moyer, M. Okada, M. Phillips, C. Porter, S.S. Rabin, C. Scheer, J.M. Schneider, J.F. Schyns, R. Skalsky, A. Smerald, T. Stella, H. Stephens, H. Webber, F. Zabel, and C. Rosenzweig, 2021: Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food*, **2** (11), 873–885. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00400-y>
43. Liu, L. and B. Basso, 2020: Impacts of climate variability and adaptation strategies on crop yields and soil organic carbon in the US Midwest. *PLoS One*, **15** (1), 0225433. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225433>
44. DeLucia, E.H., S. Chen, K. Guan, B. Peng, Y. Li, N. Gomez-Casanovas, I.B. Kantola, C.J. Bernacchi, Y. Huang, S.P. Long, and D.R. Ort, 2019: Are we approaching a water ceiling to maize yields in the United States? *Ecosphere*, **10** (6), 02773. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2773>
45. Rigden, A.J., N.D. Mueller, N.M. Holbrook, N. Pillai, and P. Huybers, 2020: Combined influence of soil moisture and atmospheric evaporative demand is important for accurately predicting US maize yields. *Nature Food*, **1**, 127–133. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0028-7>
46. Nocco, M.A., R.A. Smail, and C.J. Kucharik, 2019: Observation of irrigation-induced climate change in the Midwest United States. *Global Change Biology*, **25** (10), 3472–3484. <https://doi.org/10.1111/gcb.14725>
47. Nickles, K., A. Relling, A. García Guerra, F. Fluharty, and A. Parker, 2020: 70 cows housed in muddy environmental conditions during late gestation have lesser body weight and body condition score compared with cows housed on wood chips. *Journal of Animal Science*, **98** (Supplement_4), 48. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa278.088>
48. Nickles, K., A. Relling, A. García Guerra, F. Fluharty, and A. Parker, 2021: 87 beef heifers housed in muddy environmental conditions lose body weight and body condition but meet gestational requirements for fetal growth. *Journal of Animal Science*, **99** (Supplement_3), 46. <https://doi.org/10.1093/jas/skab235.081>
49. Nickles, K., A.E. Relling, A. Garcia-Guerra, F.L. Fluharty, and A.J. Parker, 2021: 39 muddy environmental conditions cause conceptus free live weight loss but not a decrease in calf birth weight when compared with cows housed on wood chips. *Journal of Animal Science*, **99** (Supplement_1), 31–31. <https://doi.org/10.1093/jas/skab054.054>
50. Rojas-Downing, M.M., A.P. Nejadhashemi, T. Harrigan, and S.A. Woznicki, 2017: Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, **16**, 145–163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

51. Crist, S., J. Mori, and R.L. Smith, 2020: Flooding on beef and swine farms: A scoping review of effects in the Midwestern United States. *Preventive Veterinary Medicine*, **184**, 105158. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105158>
52. Hristov, A.N., A.T. Degaetano, C.A. Rotz, E. Hoberg, R.H. Skinner, T. Felix, H. Li, P.H. Patterson, G. Roth, M. Hall, T.L. Ott, L.H. Baumgard, W. Staniar, R.M. Hulet, C.J. Dell, A.F. Brito, and D.Y. Hollinger, 2018: Climate change effects on livestock in the Northeast US and strategies for adaptation. *Climatic Change*, **146** (1), 33–45. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2023-z>
53. Feliciano, R.J., G. Boué, and J.-M. Membré, 2020: Overview of the potential impacts of climate change on the microbial safety of the dairy industry. *Foods*, **9** (12). <https://doi.org/10.3390/foods9121794>
54. Gunn, K.M., M.A. Holly, T.L. Veith, A.R. Buda, R. Prasad, C.A. Rotz, K.J. Soder, and A.M.K. Stoner, 2019: Projected heat stress challenges and abatement opportunities for U.S. milk production. *PLoS ONE*, **14** (3), e0214665. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214665>
55. Veltman, K., C.A. Rotz, L. Chase, J. Cooper, C.E. Forest, P.A. Ingraham, R.C. Izaurralde, C.D. Jones, R.E. Nicholas, M.D. Ruark, W. Salas, G. Thoma, and O. Jolliet, 2021: Assessing and reducing the environmental impact of dairy production systems in the northern US in a changing climate. *Agricultural Systems*, **192**, 103170. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103170>
56. Andresen, J.A. and W.J. Baule, 2020: Ch. 16. Perennial systems (temperate fruit trees and grapes). In: *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*. Hatfield, J.L., M.V. Sivakumar, and J.H. Prueger, Eds. American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 425–452. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr60.2016.0016>
57. NASS, 2019: 2017 Census of Agriculture: Specialty Crops. AC-17-S-8. U.S. Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. https://www.nass.usda.gov/publications/agcensus/2017/online_resources/specialty_crops/scrops.pdf
58. Kistner, E., O. Kellner, J. Andresen, D. Todey, and L.W. Morton, 2018: Vulnerability of specialty crops to short-term climatic variability and adaptation strategies in the Midwestern USA. *Climatic Change*, **146** (1), 145–158. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2066-1>
59. Khalifa, S.A.M., M.H. Elashal, N. Yosri, M. Du, S.G. Musharraf, L. Nahar, S.D. Sarker, Z. Guo, W. Cao, X. Zou, A.A. Abd El-Wahed, J. Xiao, H.A. Omar, M.-E.F. Hegazy, and H.R. El-Seedi, 2021: Bee pollen: Current status and therapeutic potential. *Nutrients*, **13** (6), 1876. <https://doi.org/10.3390/nu13061876>
60. Reilly, J.R., D.R. Artz, D. Biddinger, K. Bobiwash, N.K. Boyle, C. Brittain, J. Brokaw, J.W. Campbell, J. Daniels, E. Elle, J.D. Ellis, S.J. Fleischer, J. Gibbs, R.L. Gillespie, K.B. Gundersen, L. Gut, G. Hoffman, N. Joshi, O. Lundin, K. Mason, C.M. McGrady, S.S. Peterson, T.L. Pitts-Singer, S. Rao, N. Rothwell, L. Rowe, K.L. Ward, N.M. Williams, J.K. Wilson, R. Isaacs, and R. Winfree, 2020: Crop production in the USA is frequently limited by a lack of pollinators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **287** (1931), 20200922. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0922>
61. Soroye, P., T. Newbold, and J. Kerr, 2020: Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. *Science*, **367** (6478), 685–688. <https://doi.org/10.1126/science.aax8591>
62. Kammerer, M., S.C. Goslee, M.R. Douglas, J.F. Tooker, and C.M. Grozinger, 2021: Wild bees as winners and losers: Relative impacts of landscape composition, quality, and climate. *Global Change Biology*, **27** (6), 1250–1265. <https://doi.org/10.1111/gcb.15485>
63. Bebbber, D.P., M.A.T. Ramotowski, and S.J. Gurr, 2013: Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Climate Change*, **3** (11), 985–988. <https://doi.org/10.1038/nclimate1990>
64. Britt, K.E., T.P. Kuhar, W. Cranshaw, C.T. McCullough, S.V. Taylor, B.R. Arends, H. Burrack, M. Pulkoski, D. Owens, T.A. Tolosa, S. Zebelo, K.A. Kesheimer, O.S. Ajayi, M. Samuel-Foo, J.A. Davis, N. Arey, H. Doughty, J. Jones, M. Bolt, B.J. Fritz, J.F. Grant, J. Cosner, and M. Schreiner, 2021: Pest management needs and limitations for corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae), an emergent key pest of hemp in the United States. *Journal of Integrated Pest Management*, **12** (1), 34. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmab030>
65. IPCC Secretariat, 2021: Scientific Review of the Impact of Climate Change on Plant Pests—A Global Challenge to Prevent and Mitigate Plant Pest Risks in Agriculture, Forestry and Ecosystems. 978-92-5-134435-4. FAO on behalf of the IPCC Secretariat, Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cb4769en>

66. Kistner, E.J., 2017: Climate change impacts on the potential distribution and abundance of the brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) with special reference to North America and Europe. *Environmental Entomology*, **46** (6), 1212–1224. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx157>
67. Kistner-Thomas, E.J., 2019: The potential global distribution and voltinism of the Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) under current and future climates. *Journal of Insect Science*, **19** (2). <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez023>
68. Taylor, R.A.J., D.A. Herms, J. Cardina, and R.H. Moore, 2018: Climate change and pest management: Unanticipated consequences of trophic dislocation. *Agronomy*, **8** (1), 7. <https://doi.org/10.3390/agronomy8010007>
69. Kiefer, M.T., J.A. Andresen, D.G. McCullough, W.J. Baule, and M. Notaro, 2021: Extreme minimum temperatures in the Great Lakes region of the United States: A climatology with implications for insect mortality. *International Journal of Climatology*, **42** (7), 3596–3615. <https://doi.org/10.1002/joc.7434>
70. Landau, C.A., A.G. Hager, and M.M. Williams II, 2021: Diminishing weed control exacerbates maize yield loss to adverse weather. *Global Change Biology*, **27** (23), 6156–6165. <https://doi.org/10.1111/gcb.15857>
71. Fall, M.L., J.F. Willbur, D.L. Smith, A.M. Byrne, and M.I. Chilvers, 2018: Spatiotemporal distribution pattern of *Sclerotinia sclerotiorum* apothecia is modulated by canopy closure and soil temperature in an irrigated soybean field. *Plant Disease*, **102** (9), 1794–1802. <https://doi.org/10.1094/pdis-11-17-1821-re>
72. Komoto, K., L. Soldo, Y. Tang, M.I. Chilvers, K. Dahlin, G. Guentchev, L. Rill, and J.A. Winkler, 2021: Climatology of persistent high relative humidity: An example for the Lower Peninsula of Michigan, USA. *International Journal of Climatology*, **41** (S1), 2517–2536. <https://doi.org/10.1002/joc.6861>
73. Crane-Droesch, A., E. Marshall, S. Rosch, A. Riddle, J. Cooper, and S. Wallander, 2019: Climate Change and Agricultural Risk Management into the 21st Century. ERR-266. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/93547/err-266.pdf?v=9203.7>
74. 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>
75. 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>
76. Maxwell, J.T., G.L. Harley, and S.M. Robeson, 2016: On the declining relationship between tree growth and climate in the Midwest United States: The fading drought signal. *Climatic Change*, **138** (1), 127–142. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1720-3>
77. Thaler, E.A., I.J. Larsen, and Q. Yu, 2021: The extent of soil loss across the US Corn Belt. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **118** (8), e1922375118. <https://doi.org/10.1073/pnas.1922375118>
78. Basara, J.B., J.I. Christian, R.A. Wakefield, J.A. Otkin, E.H. Hunt, and D.P. Brown, 2019: The evolution, propagation, and spread of flash drought in the Central United States during 2012. *Environmental Research Letters*, **14** (8), 084025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2cc0>
79. Otkin, J.A., M. Svoboda, E.D. Hunt, T.W. Ford, M.C. Anderson, C. Hain, and J.B. Basara, 2018: Flash droughts: A review and assessment of the challenges imposed by rapid-onset droughts in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **99** (5), 911–919. <https://doi.org/10.1175/bams-d-17-0149.1>
80. FAO, 2023: Economic and Policy Analysis of Climate Change: EX-ACT and Climate-Smart Agriculture (CSA). Food and Agriculture Organization of the United Nations, accessed September 22, 2023. <https://www.fao.org/in-action/epic/ex-act-tool/overview/ex-act-and-csa/en/>
81. Chandra, A., K.E. McNamara, and P. Dargusch, 2018: Climate-smart agriculture: Perspectives and framings. *Climate Policy*, **18** (4), 526–541. <https://doi.org/10.1080/14693062.2017.1316968>
82. Deines, J.M., K. Guan, B. Lopez, Q. Zhou, C.S. White, S. Wang, and D.B. Lobell, 2023: Recent cover crop adoption is associated with small maize and soybean yield losses in the United States. *Global Change Biology*, **29** (3), 794–807. <https://doi.org/10.1111/gcb.16489>
83. Qin, Z., K. Guan, W. Zhou, B. Peng, M.B. Villamil, Z. Jin, J. Tang, R. Grant, L. Gentry, A.J. Margenot, G. Bollero, and Z. Li, 2021: Assessing the impacts of cover crops on maize and soybean yield in the U.S. Midwestern agroecosystems. *Field Crops Research*, **273**, 108264. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108264>

84. Basso, B., G. Shuai, J. Zhang, and G.P. Robertson, 2019: Yield stability analysis reveals sources of large-scale nitrogen loss from the US Midwest. *Scientific Reports*, **9** (1), 5774. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42271-1>
85. Maestrini, B. and B. Basso, 2021: Subfield crop yields and temporal stability in thousands of US Midwest fields. *Precision Agriculture*, **22** (6), 1749–1767. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09810-1>
86. Basso, B., R.A. Martinez-Feria, L. Rill, and J.T. Ritchie, 2021: Contrasting long-term temperature trends reveal minor changes in projected potential evapotranspiration in the US Midwest. *Nature Communications*, **12** (1), 1476. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21763-7>
87. Baule, W.J. 2022: Climatic Variability and Change in the Midwestern United States: Implications for Nitrogen Leaching in Agricultural Systems. Doctor of Philosophy in Geography, Michigan State University. <https://lter.kbs.msu.edu/pub/4046>
88. Khanna, M., D. Rajagopal, and D. Zilberman, 2021: Lessons learned from US experience with biofuels: Comparing the hype with the evidence. *Review of Environmental Economics and Policy*, **15** (1), 67–86. <https://doi.org/10.1086/713026>
89. Chen, H., J.M. Samet, P.A. Bromberg, and H. Tong, 2021: Cardiovascular health impacts of wildfire smoke exposure. *Particle and Fibre Toxicology*, **18** (1), 2. <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00394-8>
90. Field, J.L., T.L. Richard, E.A.H. Smithwick, H. Cai, M.S. Laser, D.S. LeBauer, S.P. Long, K. Paustian, Z. Qin, J.J. Sheehan, P. Smith, M.Q. Wang, and L.R. Lynd, 2020: Robust paths to net greenhouse gas mitigation and negative emissions via advanced biofuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **117** (36), 21968–21977. <https://doi.org/10.1073/pnas.1920877117>
91. Moore, K.J., C.L. Kling, and D.R. Raman, 2020: A Midwest USA perspective on von Cossel et al.'s prospects of bioenergy cropping systems for a more social-ecologically sound bioeconomy. *Agronomy*, **10** (11). <https://doi.org/10.3390/agronomy10111658>
92. Foley, J.A., N. Ramankutty, K.A. Brauman, E.S. Cassidy, J.S. Gerber, M. Johnston, N.D. Mueller, C. O'Connell, D.K. Ray, P.C. West, C. Balzer, E.M. Bennett, S.R. Carpenter, J. Hill, C. Monfreda, S. Polasky, J. Rockström, J. Sheehan, S. Siebert, D. Tilman, and D.P.M. Zaks, 2011: Solutions for a cultivated planet. *Nature*, **478** (7369), 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
93. Reo, N.J. and L.A. Ogden, 2018: Anishnaabe Aki: An indigenous perspective on the global threat of invasive species. *Sustainability Science*, **13**, 1443–1452. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0571-4>
94. DOI, FWS, DOC, and USCB, 2016: National Survey of Fishing, Hunting, and Wildlife-Associated Recreation. U.S. Department of the Interior, U.S. Fish and Wildlife Service, U.S. Department of Commerce, and U.S. Census Bureau. <https://www.census.gov/content/dam/Census/library/publications/2018/demo/fhw16-nat.pdf>
95. White, M.P., I. Alcock, J. Grellier, B.W. Wheeler, T. Hartig, S.L. Warber, A. Bone, M.H. Depledge, and L.E. Fleming, 2019: Spending at least 120 minutes a week in nature is associated with good health and wellbeing. *Scientific Reports*, **9** (1), 7730. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44097-3>
96. Mitchell, R. and F. Popham, 2008: Effect of exposure to natural environment on health inequalities: An observational population study. *The Lancet*, **372** (9650), 1655–1660. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(08\)61689-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(08)61689-x)
97. Paukert, C., J.D. Olden, A.J. Lynch, D.D. Breshears, R.C. Chambers, C. Chu, M. Daly, K.L. Dibble, J. Falke, D. Issak, P. Jacobson, O.P. Jensen, and D. Munroe, 2021: Climate change effects on North American fish and fisheries to inform adaptation strategies. *Fisheries*, **46** (9), 449–464. <https://doi.org/10.1002/fsh.10668>
98. Hansen, G.J.A., T.D. Ahrenstorff, B.J. Bethke, J.D. Dumke, J. Hirsch, K.E. Kovalenko, J.F. LeDuc, R.P. Maki, H.M. Rantala, and T. Wagner, 2020: Walleye growth declines following zebra mussel and *Bythotrephes* invasion. *Biological Invasions*, **22**, 1481–1495. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02198-5>
99. Höök, T.O., C.J. Foley, P. Collingsworth, L. Dorworth, B. Fisher, J.T. Hoverman, E. LaRue, M. Pyron, and J. Tank, 2020: An assessment of the potential impacts of climate change on freshwater habitats and biota of Indiana, USA. *Climatic Change*, **163** (4), 1897–1916. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02502-w>
100. Jacobson, P.C., G.J.A. Hansen, B.J. Bethke, and T.K. Cross, 2017: Disentangling the effects of a century of eutrophication and climate warming on freshwater lake fish assemblages. *PLoS One*, **12** (8), 0182667. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182667>

101. Murdoch, A., C. Mantyka-Pringle, and S. Sharma, 2020: The interactive effects of climate change and land use on boreal stream fish communities. *Science of The Total Environment*, **700**, 134518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134518>
102. Hansen, G.J.A., J.S. Read, J.F. Hansen, and L.A. Winslow, 2017: Projected shifts in fish species dominance in Wisconsin lakes under climate change. *Global Change Biology*, **23** (4), 1463–1476. <https://doi.org/10.1111/gcb.13462>
103. Hansen, G.J.A., J. Ruzich, C.A. Krabbenhoft, H. Kundel, S. Mahlum, C.I. Rounds, A.O. Van Pelt, L.D. Eslinger, D.E. Logsdon, and D.A. Isermann, 2022: It's complicated and it depends: A review of the effects of ecosystem changes on walleye and yellow perch populations in North America. *North American Journal of Fisheries Management*, **42** (3), 484–506. <https://doi.org/10.1002/nafm.10741>
104. Hansen, G.J.A., L.A. Winslow, J.S. Read, M. Treml, P.J. Schmalz, and S.R. Carpenter, 2019: Water clarity and temperature effects on walleye safe harvest: An empirical test of the safe operating space concept. *Ecosphere*, **10** (5), 02737. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2737>
105. Till, A., A.L. Rypel, A. Bray, and S.B. Fey, 2019: Fish die-offs are concurrent with thermal extremes in north temperate lakes. *Nature Climate Change*, **9**, 637–641. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0520-y>
106. Death, R.G., I.C. Fuller, and M.G. Macklin, 2015: Resetting the river template: The potential for climate-related extreme floods to transform river geomorphology and ecology. *Freshwater Biology*, **60** (12), 2477–2496. <https://doi.org/10.1111/fwb.12639>
107. Choi, C., P. Berry, and A. Smith, 2021: The climate benefits, co-benefits, and trade-offs of green infrastructure: A systematic literature review. *Journal of Environmental Management*, **291**, 112583. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112583>
108. Demaria, E.M.C., R.N. Palmer, and J.K. Roundy, 2016: Regional climate change projections of streamflow characteristics in the Northeast and Midwest U.S. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **5**, 309–323. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.007>
109. Tsang, Y., D.M. Infante, L. Wang, D. Krueger, and D. Wieferich, 2021: Conserving stream fishes with changing climate: Assessing fish responses to changes in habitat over a large region. *Science of The Total Environment*, **755** (2), 142503. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142503>
110. Mitro, M.G., J.D. Lyons, J.S. Stewart, P.K. Cunningham, and J.D.T. Griffin, 2019: Projected changes in brook trout and brown trout distribution in Wisconsin streams in the mid-twenty-first century in response to climate change. *Hydrobiologia*, **840** (1), 215–226. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04020-3>
111. Usinowicz, J., J. Qiu, and A. Kamarainen, 2017: Flashiness and flooding of two lakes in the Upper Midwest during a century of urbanization and climate change. *Ecosystems*, **20**, 601–615. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-0042-7>
112. Palmer, R.N., K.H. Nislow, P. McIntyre, M. Ocana, K. Kahl, K. Lutz, B. Backiel, A. Ericson, E. Lotter, S. Pfiefler, and M. Saleeba, 2020: Slowing the Flow for Climate Resilience: Reducing Vulnerability to Extreme Flood and Drought Events. University of Massachusetts, Northeast Climate Adaptation Science Center, Amherst, MA. https://necasc.umass.edu/sites/default/files/styles/desktop_x1_1400px_/public/2020-00/Slow-the-Flow-_schematic2.jpg?itok=BoxKBGx6
113. Zhang, X., T.J. Lark, C.M. Clark, Y. Yuan, and S.D. LeDuc, 2021: Grassland-to-cropland conversion increased soil, nutrient, and carbon losses in the US Midwest between 2008 and 2016. *Environmental Research Letters*, **16**, 054018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abecbe>
114. Jarzyna, M.A., B. Zuckerberg, A.O. Finley, and W.F. Porter, 2016: Synergistic effects of climate and land cover: Grassland birds are more vulnerable to climate change. *Landscape Ecology*, **31**, 2275–2290. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0399-1>
115. Zuckerberg, B., C.A. Ribic, and L.A. McCauley, 2018: Effects of temperature and precipitation on grassland bird nesting success as mediated by patch size. *Conservation Biology*, **32** (4), 872–882. <https://doi.org/10.1111/cobi.13089>
116. Patterson, T.A., R. Grundel, J.D.K. Dzurisin, R.L. Knutson, and J.J. Hellmann, 2020: Evidence of an extreme weather-induced phenological mismatch and a local extirpation of the endangered Karner blue butterfly. *Conservation Science and Practice*, **2** (1), 147. <https://doi.org/10.1111/csp2.147>
117. Zylstra, E.R., L. Ries, N. Neupane, S.P. Saunders, M.I. Ramírez, E. Rendón-Salinas, K.S. Oberhauser, M.T. Farr, and E.F. Zipkin, 2021: Changes in climate drive recent monarch butterfly dynamics. *Nature Ecology & Evolution*, **5**, 1441–1452. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01504-1>

118. Alstad, A.O., E.I. Damschen, T.J. Givnish, J.A. Harrington, M.K. Leach, D.A. Rogers, and D.M. Waller, 2016: The pace of plant community change is accelerating in remnant prairies. *Science Advances*, **2** (2), e1500975. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500975>
119. Henn, J.J. and E.I. Damschen, 2022: Grassland management actions influence soil conditions and plant community responses to winter climate change. *Ecosphere*, **13** (10), e4270. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4270>
120. Ratcliffe, H., M. Ahlering, D. Carlson, S. Vacek, A. Allstadt, and L.E. Dee, 2022: Invasive species do not exploit early growing seasons in burned tallgrass prairies. *Ecological Applications*, **32** (7), e2641. <https://doi.org/10.1002/eap.2641>
121. Frelich, L., C.G. Lorimer, and M.C. Stambaugh, 2021: Ch. 7. History and future of fire in hardwood and conifer forests of the Great Lakes–Northeastern Forest Region, USA. In: *Fire Ecology and Management: Past, Present, and Future of US Forested Ecosystems. Managing Forest Ecosystems*. Greenberg, C.H. and B. Collins, Eds. Springer, Cham, Switzerland, 243–285. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73267-7_7
122. Gao, P., A.J. Terando, J.A. Kupfer, J. Morgan Varner, M.C. Stambaugh, T.L. Lei, and J. Kevin Hiers, 2021: Robust projections of future fire probability for the conterminous United States. *Science of The Total Environment*, **789**, 147872. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147872>
123. Stambaugh, M.C., B.O. Knapp, and D.C. Dey, 2021: Ch. 5. Fire ecology and management of forest ecosystems in the Western Central Hardwoods and Prairie–Forest Border. In: *Fire Ecology and Management: Past, Present, and Future of US Forested Ecosystems*. Greenberg, C.H. and B. Collins, Eds. Springer, Cham, Switzerland, 149–199. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73267-7_5
124. Otkin, J.A., M. Woloszyn, H. Wang, M. Svoboda, M. Skumanich, R. Pulwarty, J. Lisonbee, A. Hoell, M. Hobbins, T. Haigh, and A.E. Cravens, 2022: Getting ahead of flash drought: From early warning to early action. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **103** (10), E2188–E2202. <https://doi.org/10.1175/bams-d-21-0288.1>
125. Pendergrass, A.G., G.A. Meehl, R. Pulwarty, M. Hobbins, A. Hoell, A. AghaKouchak, C.J.W. Bonfils, A.J.E. Gallant, M. Hoerling, D. Hoffmann, L. Kaatz, F. Lehner, D. Llewellyn, P. Mote, R.B. Neale, J.T. Overpeck, A. Sheffield, K. Stahl, M. Svoboda, M.C. Wheeler, A.W. Wood, and C.A. Woodhouse, 2020: Flash droughts present a new challenge for subseasonal-to-seasonal prediction. *Nature Climate Change*, **10**, 191–199. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0709-0>
126. Christian, J.I., J.B. Basara, E.D. Hunt, J.A. Otkin, J.C. Furtado, V. Mishra, X. Xiao, and R.M. Randall, 2021: Global distribution, trends, and drivers of flash drought occurrence. *Nature Communications*, **12**, 6330. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26692-z>
127. Wood, J.D., B.O. Knapp, R.M. Muzika, M.C. Stambaugh, and L. Gu, 2018: The importance of drought–pathogen interactions in driving oak mortality events in the Ozark border region. *Environmental Research Letters*, **13** (1), 015004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa94fa>
128. De Jager, N.R., M. Van Appledorn, T.J. Fox, J.J. Rohweder, L.J. Guyon, A.R. Meier, R.J. Cosgriff, and B.J. Vandermyde, 2019: Spatially explicit modelling of floodplain forest succession: Interactions among flood inundation, forest successional processes, and other disturbances in the Upper Mississippi River floodplain, USA. *Ecological Modelling*, **405**, 15–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.05.002>
129. King, D.J., G.L. Harley, J.T. Maxwell, K.J. Heeter, B.J. Vandermyde, and R.J. Cosgriff, 2021: Floodplain forest structure and the recent decline of *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch (Northern pecan) at its northern latitudinal range margin, Upper Mississippi River System, USA. *Forest Ecology and Management*, **496**, 119454. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119454>
130. Klooster, W.S., K.J.K. Gandhi, L.C. Long, K.I. Perry, K.B. Rice, and D.A. Herms, 2018: Ecological impacts of emerald ash borer in forests at the epicenter of the invasion in North America. *Forests*, **9** (5), 250. <https://doi.org/10.3390/f9050250>
131. Phillips, R.P., L. Brandt, P.D. Polly, P. Zollner, M.R. Saunders, K. Clay, L. Iverson, and S. Fei, 2020: An integrated assessment of the potential impacts of climate change on Indiana forests. *Climatic Change*, **163**, 1917–1931. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2326-8>
132. Tribal Adaptation Menu Team, 2019: Dibaginjigaadeg Anishinaabe Ezhitwaad: A Tribal Climate Adaptation Menu. Great Lakes Indian Fish and Wildlife Commission, Odanah, WI, 54 pp. <https://forestadaptation.org/tribal-climate-adaptation-menu>

133. Contosta, A.R., N.J. Casson, S. Garlick, S.J. Nelson, M.P. Ayres, E.A. Burakowski, J. Campbell, I. Creed, C. Eimers, C. Evans, I. Fernandez, C. Fuss, T. Huntington, K. Patel, R. Sanders-DeMott, K. Son, P. Templer, and C. Thornbrugh, 2019: Northern forest winters have lost cold, snowy conditions that are important for ecosystems and human communities. *Ecological Applications*, **29** (7), 01974. <https://doi.org/10.1002/eap.1974>
134. Contosta, A.R., N.J. Casson, S.J. Nelson, and S. Garlick, 2020: Defining frigid winter illuminates its loss across seasonally snow-covered areas of eastern North America. *Environmental Research Letters*, **15** (3), 034020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab54f3>
135. Zuckerberg, B. and J.N. Pauli, 2018: Conserving and managing the subnivium. *Conservation Biology*, **32** (4), 774–781. <https://doi.org/10.1111/cobi.13091>
136. Marks-Marino, D., 2019: 1854 Treaty Authority. Northern Arizona University, Institute for Tribal Environmental Professionals. http://www7.nau.edu/itep/main/tcc/Tribes/gl_trAuth
137. Moore, S., 2012: Grand Portage Band of Lake Superior Chippewa: Creative Solutions for a Changing Environment. Northern Arizona University, Institute for Tribal Environmental Professionals, Climate Change Program. http://www7.nau.edu/itep/main/tcc/Tribes/gl_gpchippewa
138. Teitelbaum, C.S., A.P.K. Sirén, E. Coffel, J.R. Foster, J.L. Frair, J.W. Hinton, R.M. Horton, D.W. Kramer, C. Lesk, C. Raymond, D.W. Wattles, K.A. Zeller, and T.L. Morelli, 2021: Habitat use as indicator of adaptive capacity to climate change. *Diversity and Distributions*, **27** (4), 655–667. <https://doi.org/10.1111/ddi.13223>
139. Weiskopf, S.R., O.E. Ledee, and L.M. Thompson, 2019: Climate change effects on deer and moose in the Midwest. *The Journal of Wildlife Management*, **83** (4), 769–781. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21649>
140. Billiot, S., S. Kwon, and C.E. Burnette, 2019: Repeated disasters and chronic environmental changes impede generational transmission of Indigenous knowledge. *Journal of Family Strengths*, **19** (1), 11. <https://digitalcommons.library.tmc.edu/jfs/vol19/iss1/11>
141. Bond, M.O., B.J. Anderson, T.H.A. Henare, and P.M. Wehi, 2019: Effects of climatically shifting species distributions on biocultural relationships. *People and Nature*, **1** (1), 87–102. <https://doi.org/10.1002/pan3.15>
142. Daigle, J.J., N. Michelle, D.J. Ranco, and M.R. Emery, 2019: Traditional lifeways and storytelling: Tools for adaptation and resilience to ecosystem change. *Human Ecology*, **47** (5), 777–784. <https://doi.org/10.1007/s10745-019-00113-8>
143. Pearson, J., G. Jackson, and K.E. McNamara, 2023: Climate-driven losses to Indigenous and local knowledge and cultural heritage. *The Anthropocene Review*, **10** (2), 343–366. <https://doi.org/10.1177/20530196211005482>
144. Panci, H., M. Montano, A. Shultz, T. Bartnick, and K. Stone, 2018: Climate Change Vulnerability Assessment: Integrating Scientific and Traditional Ecological Knowledge. Version 1. Coleman, J., E. Chiriboga, A.M. Soltis, and J. Gilbert, Eds. Great Lakes Indian Fish and Wildlife Commission. https://glifwc.org/ClimateChange/GLIFWC_Climate_Change_Vulnerability_Assessment_Version1_April2018.pdf
145. Dooper, S., K. Proudman, A. Osielski, S. Swanz, and A. Zaman, 2018: Assessing Potential Non-Economic Loss & Damage from Climate Change: Partnership with the Bad River Band of the Lake Superior Chippewa Indians. University of Michigan, Ann Arbor, MI. <https://hdl.handle.net/2027.42/150173>
146. Marks-Marino, D., 2019: The Bad River Band of Lake Superior Chippewa (Ojibwe). Northern Arizona University, Institute for Tribal Environmental Professionals, Climate Change Program. http://www7.nau.edu/itep/main/tcc/tribes/gl_badriver
147. Stoffle, R.W., M.J. Evans, C.S. Sittler, D.L. Berry, and K. Van Vlack, 2022: Climate change and Odawa cultural plants in Sleeping Bear Dunes National Lake Shore. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-869301/v1>
148. Hatfield, S.C., E. Marino, K.P. Whyte, K.D. Dello, and P.W. Mote, 2018: Indian time: Time, seasonality, and culture in Traditional Ecological Knowledge of climate change. *Ecological Processes*, **7**, 25. <https://doi.org/10.1186/s13717-018-0136-6>
149. Embke, H.S., T.D. Beard Jr., A.J. Lynch, and M.J.V. Zanden, 2020: Fishing for food: Quantifying recreational fisheries harvest in Wisconsin lakes. *Fisheries*, **45** (12), 647–655. <https://doi.org/10.1002/fsh.10486>
150. Filazzola, A., K. Blagrove, M.A. Imrit, and S. Sharma, 2020: Climate change drives increases in extreme events for lake ice in the Northern Hemisphere. *Geophysical Research Letters*, **47** (18), 2020GL089608. <https://doi.org/10.1029/2020gl089608>

151. Knoll, L.B., S. Sharma, B.A. Denfeld, G. Flaim, Y. Hori, J.J. Magnuson, D. Straile, and G.A. Weyhenmeyer, 2019: Consequences of lake and river ice loss on cultural ecosystem services. *Limnology and Oceanography Letters*, **4** (5), 119–131. <https://doi.org/10.1002/lol2.10116>
152. Sharma, S., K. Blagrove, S.R. Watson, C.M. O'Reilly, R. Batt, J.J. Magnuson, T. Clemens, B.A. Denfeld, G. Flaim, L. Grinberga, Y. Hori, A. Laas, L.B. Knoll, D. Straile, N. Takamura, and G.A. Weyhenmeyer, 2020: Increased winter drownings in ice-covered regions with warmer winters. *PLoS ONE*, **15** (11), e0241222. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241222>
153. Ontl, T.A., C. Swanston, L.A. Brandt, P.R. Butler, A.W. D'Amato, S.D. Handler, M.K. Janowiak, and P.D. Shannon, 2018: Adaptation pathways: Ecoregion and land ownership influences on climate adaptation decision-making in forest management. *Climatic Change*, **146** (1), 75–88. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1983-3>
154. White, M.A., M.W. Cornett, K. Frerker, and J.R. Etterson, 2020: Partnerships to take on climate change: Adaptation forestry and conifer strongholds projects in the Northwoods, Minnesota, USA. *Journal of Forestry*, **118** (3), 219–232. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvaa005>
155. Muller, J.J., L.M. Nagel, and B.J. Palik, 2021: Comparing long-term projected outcomes of adaptive silvicultural approaches aimed at climate change in red pine forests of northern Minnesota, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, **51** (12), 1875–1887. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0097>
156. Tingley, R.W., C. Paukert, G.G. Sass, P.C. Jacobson, G.J.A. Hansen, A.J. Lynch, and P.D. Shannon, 2019: Adapting to climate change: Guidance for the management of inland glacial lake fisheries. *Lake and Reservoir Management*, **35** (4), 435–452. <https://doi.org/10.1080/10402381.2019.1678535>
157. Magee, M.R., C.L. Hein, J.R. Walsh, P.D. Shannon, M.J. Vander Zanden, T.B. Campbell, G.J.A. Hansen, J. Hauxwell, G.D. LaLiberte, T.P. Parks, G.G. Sass, C.W. Swanston, and M.K. Janowiak, 2019: Scientific advances and adaptation strategies for Wisconsin lakes facing climate change. *Lake and Reservoir Management*, **35** (4), 364–381. <https://doi.org/10.1080/10402381.2019.1622612>
158. IPBES, 2019: *Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Díaz, S., J. Settele, E.S. Brondizio, H.T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K.A. Brauman, S.H.M. Butchart, K.M.A. Chan, L.A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S.M. Subramanian, G.F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y.J. Shin, I.J. Visseren-Hamakers, K.J. Willis, and C.N. Zayas, Eds. IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 56 pp. https://www.ipbes.net/sites/default/files/inline/files/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers.pdf
159. Seddon, N., A. Chausson, P. Berry, C.A.J. Girardin, A. Smith, and B. Turner, 2020: Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **375** (1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
160. NCEI, 2022: U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, National Centers for Environmental Information. <https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/>
161. Davenport, F.V., M. Burke, and N.S. Diffenbaugh, 2021: Contribution of historical precipitation change to US flood damages. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **118** (4), e2017524118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2017524118>
162. Johnson, K.A., O.E.J. Wing, P.D. Bates, J. Fargione, T. Kroeger, W.D. Larson, C.C. Sampson, and A.M. Smith, 2020: A benefit-cost analysis of floodplain land acquisition for US flood damage reduction. *Nature Sustainability*, **3** (1), 56–62. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0437-5>
163. Cheng, F.Y., K.J. Van Meter, D.K. Byrnes, and N.B. Basu, 2020: Maximizing US nitrate removal through wetland protection and restoration. *Nature*, **588** (7839), 625–630. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03042-5>
164. Johnson, T., J. Butcher, S. Santell, S. Schwartz, S. Julius, and S. LeDuc, 2022: A review of climate change effects on practices for mitigating water quality impacts. *Journal of Water and Climate Change*, **13** (4), 1684–1705. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.363>
165. Anderegg, W.R.L., A.T. Trugman, G. Badgley, C.M. Anderson, A. Bartuska, P. Ciais, D. Cullenward, C.B. Field, J. Freeman, S.J. Goetz, J.A. Hicke, D. Huntzinger, R.B. Jackson, J. Nickerson, S. Pacala, and J.T. Randerson, 2020: Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science*, **368** (6497), 7005. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7005>

166. Bossio, D.A., S.C. Cook-Patton, P.W. Ellis, J. Fargione, J. Sanderman, P. Smith, S. Wood, R.J. Zomer, M. Unger, I.M. Emmer, and B.W. Griscom, 2020: The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nature Sustainability*, **3**, 391–398. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>
167. Fargione, J.E., S. Bassett, T. Boucher, S.D. Bridgman, R.T. Conant, S.C. Cook-patton, P.W. Ellis, A. Falcucci, J.W. Fourqurean, T. Gopalakrishna, H. Gu, B. Henderson, M.D. Hurteau, K.D. Kroeger, T. Kroeger, T.J. Lark, S.M. Leavitt, G. Lomax, R.I. McDonald, J.P. Megonigal, D.A. Miteva, C.J. Richardson, J. Sanderman, D. Shoch, S.A. Spawn, J.W. Veldman, C.A. Williams, P.B. Woodbury, C. Zganjar, M. Baranski, R.A. Houghton, E. Landis, E. McGlynn, W.H. Schlesinger, J.V. Siikamakiariana, E. Sutton-Grierand, and B.W. Griscom, 2018: Natural climate solutions for the United States. *Science Advances*, **4** (11), 1869. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat1869>
168. Griscom, B.W., J. Adams, P.W. Ellis, R.A. Houghton, G. Lomax, D.A. Miteva, W.H. Schlesinger, D. Shoch, J.V. Siikamäki, P. Smith, P. Woodbury, C. Zganjar, A. Blackman, J. Campari, R.T. Conant, C. Delgado, P. Elias, T. Gopalakrishna, M.R. Hamsik, M. Herrero, J. Kiesecker, E. Landis, L. Laestadius, S.M. Leavitt, S. Minnemeyer, S. Polasky, P. Potapov, F.E. Putz, J. Sanderman, M. Silvius, E. Wollenberg, and J. Fargione, 2017: Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **114** (44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
169. Michigan DNR, 2023: DNR State Forecast Carbon Projects. Michigan Department of Natural Resources, accessed April 27, 2023. <https://www.michigan.gov/dnr/buy-and-apply/carbon>
170. Reich, P.B., S.E. Hobbie, T.D. Lee, R. Rich, M.A. Pastore, and K. Worm, 2020: Synergistic effects of four climate change drivers on terrestrial carbon cycling. *Nature Geoscience*, **13**, 787–793. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-00657-1>
171. Krause, L., K.J. McCullough, E.S. Kane, R.K. Kolka, R.A. Chimner, and E.A. Lilleskov, 2021: Impacts of historical ditching on peat volume and carbon in northern Minnesota USA peatlands. *Journal of Environmental Management*, **296**, 113090. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113090>
172. Prince, H., 1997: *Wetlands of the American Midwest: A Historical Geography of Changing Attitudes*. University of Chicago Press, 410 pp. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/W/bo3633450.html>
173. Naidu, D.G.T. and S. Bagchi, 2021: Greening of the earth does not compensate for rising soil heterotrophic respiration under climate change. *Global Change Biology*, **27** (10), 2029–2038. <https://doi.org/10.1111/gcb.15531>
174. Hanson, P.J., N.A. Griffiths, C.M. Iversen, R.J. Norby, S.D. Sebestyen, J.R. Phillips, J.P. Chanton, R.K. Kolka, A. Malhotra, K.C. Oleheiser, J.M. Warren, X. Shi, X. Yang, J. Mao, and D.M. Ricciuto, 2020: Rapid net carbon loss from a whole-ecosystem warmed peatland. *AGU Advances*, **1** (3), e2020AV000163. <https://doi.org/10.1029/2020av000163>
175. Stults, M., S. Petersen, J. Bell, W. Baule, E. Nasser, E. Gibbons, and M. Fougerat, 2016: Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Plan: 1854 Ceded Territory Including the Bois Forte, Fond du Lac, and Grand Portage Reservations. 1854 Ceded Territory, Duluth, MN, 146 pp. [https://www.1854treatyauthority.org/images/ClimateAdaptationPlan_Final-July_2016-optimized\(1\).pdf](https://www.1854treatyauthority.org/images/ClimateAdaptationPlan_Final-July_2016-optimized(1).pdf)
176. CTKW, 2014: Guidelines for Considering Traditional Knowledges (TKs) in Climate Change Initiatives. Climate and Traditional Knowledges Workgroup. <https://climatetkw.wordpress.com>
177. Koski, J., J. Vanator, M. Montano, J. Ballinger, V. Gagnon, J. Lackey, E. Ravindran, and J.L. Jock, 2021: Guidance Document on Traditional Ecological Knowledge Pursuant to the Great Lakes Water Quality Agreement. U.S. Caucus of the Traditional Ecological Knowledge, 34 pp. https://www.bia.gov/sites/default/files/dup/assets/bia/wstreg/Guidance_Document_on_TEK_Pursuant_to_the_Great_Lakes_Water_Quality_Agreement.pdf
178. Chin, N., K. Byun, A.F. Hamlet, and K.A. Cherkauer, 2018: Assessing potential winter weather response to climate change and implications for tourism in the U.S. Great Lakes and Midwest. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **19**, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.06.005>
179. Sampson, N.R., C.E. Price, J. Kassem, J. Doan, and J. Hussein, 2019: “We’re just sitting ducks”: Recurrent household flooding as an underreported environmental health threat in Detroit’s changing climate. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16** (1), 6. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010006>
180. Bernstein, A.S., S. Sun, K.R. Weinberger, K.R. Spangler, P.E. Sheffield, and G.A. Wellenius, 2022: Warm season and emergency department visits to U.S. children’s hospitals. *Environmental Health Perspectives*, **130** (1), 017001. <https://doi.org/10.1289/ehp8083>

181. Liu, J., L.P. Clark, M.J. Bechle, A. Hajat, S.Y. Kim, A.L. Robinson, L. Sheppard, A.A. Szpiro, and J.D. Marshall, 2021: Disparities in air pollution exposure in the United States by race/ethnicity and income, 1990–2010. *Environmental Health Perspectives*, **129** (12), 127005. <https://doi.org/10.1289/ehp8584>
182. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022: *Communities, Climate Change, and Health Equity: Proceedings of a Workshop–In Brief*. The National Academies Press, Washington, DC, 12 pp. <https://doi.org/10.17226/26435>
183. Hoffman, J.S., V. Shandas, and N. Pendleton, 2020: The effects of historical housing policies on resident exposure to intra-urban heat: A study of 108 US urban areas. *Climate*, **8** (1), 12. <https://doi.org/10.3390/cli8010012>
184. Muñoz, C.E. and E. Tate, 2016: Unequal recovery? Federal resource distribution after a Midwest flood disaster. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **13** (5), 507. <https://doi.org/10.3390/ijerph13050507>
185. Hsiao, V., T. Chandereng, R.L. Lankton, J.A. Huebner, J.J. Baltus, G.E. Flood, S.M. Dean, A.J. Tevaarwek, and D.F. Schneider, 2021: Disparities in telemedicine access: A cross-sectional study of a newly established infrastructure during the COVID-19 pandemic. *Applied Clinical Informatics*, **12** (3), 445–458. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1730026>
186. ALA, 2022: State of the Air 2022. American Lung Association. <https://www.lung.org/getmedia/74b3d3d3-88d1-4335-95d8-c4e47d0282c1/sota-2022.pdf>
187. Dedoussi, I.C., S.D. Eastham, E. Monier, and S.R.H. Barrett, 2020: Premature mortality related to United States cross-state air pollution. *Nature*, **578**, 261–265. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-1983-8>
188. Fann, N.L., C.G. Nolte, M.C. Sarofim, J. Martinich, and N.J. Nassikas, 2021: Associations between simulated future changes in climate, air quality, and human health. *JAMA Network Open*, **4** (1), e2032064. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.32064>
189. Nassikas, N., K. Spangler, N. Fann, C.G. Nolte, P. Dolwick, T.L. Spero, P. Sheffield, and G.A. Wellenius, 2021: Ozone-related asthma emergency department visits in the US in a warming climate. *Environmental Research*, **183**, 109206. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109206>
190. Limaye, V.S., W. Max, J. Constible, and K. Knowlton, 2019: Estimating the health-related costs of 10 climate-sensitive U.S. events during 2012. *GeoHealth*, **3** (9), 245–265. <https://doi.org/10.1029/2019gh000202>
191. EPA, 2017: Multi-Model Framework for Quantitative Sectoral Impacts Analysis: A Technical Report for the Fourth National Climate Assessment. EPA 430-R-17-001. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. <https://www.epa.gov/cira/multi-model-framework-quantitative-sectoral-impacts-analysis>
192. Scott, J.H., A.M. Brough, J.W. Gilbertson-Day, K. Gregory, and C. Moran, 2020: Wildfire Risk to Communities: Spatial Datasets of Wildfire Risk for Populated Areas in the United States. Forest Service Research Data Archive, Fort Collins, CO. <https://doi.org/10.2737/rds-2020-0060>
193. Brey, S.J., M. Ruminski, S.A. Atwood, and E.V. Fischer, 2018: Connecting smoke plumes to sources using Hazard Mapping System (HMS) smoke and fire location data over North America. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **18** (3), 1745–1761. <https://doi.org/10.5194/acp-18-1745-2018>
194. Sorensen, C., J.A. House, K. O'Dell, S.J. Brey, B. Ford, J.R. Pierce, E.V. Fischer, J. Lemery, and J.L. Crooks, 2021: Associations between wildfire-related PM_{2.5} and intensive care unit admissions in the United States, 2006–2015. *GeoHealth*, **5** (5), 2021GH000385. <https://doi.org/10.1029/2021gh000385>
195. Mills, D., R. Jones, C. Wobus, J. Ekstrom, L. Jantarasami, A.S. Juliana, and A. Crimmins, 2018: Projecting age-stratified risk of exposure to inland flooding and wildfire smoke in the United States under two climate scenarios. *Environmental Health Perspectives*, **126** (4), 047007. <https://doi.org/10.1289/ehp2594>
196. Neumann, J.E., S.C. Anenberg, K.R. Weinberger, M. Amend, S. Gulati, A. Crimmins, H. Roman, N. Fann, and P.L. Kinney, 2019: Estimates of present and future asthma emergency department visits associated with exposure to oak, birch, and grass pollen in the United States. *GeoHealth*, **3** (1), 11–27. <https://doi.org/10.1029/2018gh000153>
197. Patel, S., C. Kaplan, A. Galor, and N. Kumar, 2021: The role of temperature change, ambient temperature, and relative humidity in allergic conjunctivitis in a US veteran population. *American Journal of Ophthalmology*, **230**, 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2021.04.035>

198. Anenberg, S.C., K.R. Weinberger, H. Roman, J.E. Neumann, A. Crimmins, N. Fann, J. Martinich, and P.L. Kinney, 2017: Impacts of oak pollen on allergic asthma in the United States and potential influence of future climate change. *GeoHealth*, **1** (3), 80–92. <https://doi.org/10.1002/2017gh000055>
199. Eguiluz-Gracia, I., A.G. Mathioudakis, S. Bartel, S.J.H. Vijverberg, E. Fuertes, P. Comberiat, Y.S. Cai, P.V. Tomazic, Z. Diamant, J. Vestbo, C. Galan, and B. Hoffmann, 2020: The need for clean air: The way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma. *Allergy*, **75** (9), 2170–2184. <https://doi.org/10.1111/all.14177>
200. AAFA, 2020: Asthma Disparities in America: A Roadmap to Reducing Burden on Racial and Ethnic Minorities. Asthma and Allergy Foundation of America. <https://aafa.org/asthmadisparities>
201. Olds, H.T., S.R. Corsi, D.K. Dila, K.M. Halmo, M.J. Bootsma, and S.L. McLellan, 2018: High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: A quantitative survey with sewage specific bacterial indicators. *PLoS Medicine*, **15** (7), 1002614. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002614>
202. Shirzaei, M., M. Khoshmanesh, C. Ojha, S. Werth, H. Kerner, G. Carlson, S.F. Sherpa, G. Zhai, and J.-C. Lee, 2021: Persistent impact of spring floods on crop loss in U.S. Midwest. *Weather and Climate Extremes*, **34**, 100392. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100392>
203. Uejio, C.K., M. Christenson, C. Moran, and M. Gorelick, 2017: Drinking-water treatment, climate change, and childhood gastrointestinal illness projections for northern Wisconsin (USA) communities drinking untreated groundwater. *Hydrogeology Journal*, **25** (4), 969–979. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1521-9>
204. Hoppe, B.O., K.K. Raab, K.A. Blumenfeld, and J. Lundy, 2018: Vulnerability assessment of future flood impacts for populations on private wells: Utilizing climate projection data for public health adaptation planning. *Climatic Change*, **148**, 533–546. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2207-1>
205. Alkishe, A. and A.T. Peterson, 2022: Climate change influences on the geographic distributional potential of the spotted fever vectors *Amblyomma maculatum* and *Dermacentor andersoni*. *PeerJ*, **10**, e13279. <https://doi.org/10.7717/peerj.13279>
206. Sonenshine, D.E., 2018: Range expansion of tick disease vectors in North America: Implications for spread of tick-borne disease. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **15** (3), 478. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030478>
207. Hauser, N., K.C. Conlon, A. Desai, and L.N. Kobziar, 2021: Climate change and infections on the move in North America. *Infection and Drug Resistance*, **14**, 5711–5723. <https://doi.org/10.2147/idr.s305077>
208. Sagurova, I., A. Ludwig, N.H. Ogden, Y. Pelcat, G. Dueymes, and P. Gachon, 2019: Predicted northward expansion of the geographic range of the tick vector *Amblyomma americanum* in North America under future climate conditions. *Environmental Health Perspectives*, **127** (10), 107014. <https://doi.org/10.1289/ehp5668>
209. Khan, S.U., N.H. Ogden, A.A. Fazil, P.H. Gachon, G.U. Dueymes, A.L. Greer, and V. Ng, 2020: Current and projected distributions of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* in Canada and the U.S. *Environmental Health Perspectives*, **128** (5), 057007. <https://doi.org/10.1289/ehp5899>
210. Belova, A., D. Mills, R. Hall, A. Juliana, A. Crimmins, C. Barker, and R. Jones, 2017: Impacts of increasing temperature on the future incidence of West Nile neuroinvasive disease in the United States. *American Journal of Climate Change*, **6**, 166–216. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.61010>
211. Hoppe, B.O., L. Prussia, C. Manning, K.K. Raab, and K.V. Jones-Casey, 2023: “It’s hard to give hope sometimes”: Climate change, mental health, and the challenges for mental health professionals. *Ecopsychology*, **15** (1), 13–25. <https://doi.org/10.1089/eco.2022.0032>
212. Bjornestad, A., C. Cuthbertson, and J. Hendricks, 2021: An analysis of suicide risk factors among farmers in the Midwestern United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18** (7), 3563. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073563>
213. Cianconi, P., S. Betrò, and L. Janiri, 2020: The impact of climate change on mental health: A systematic descriptive review. *Frontiers in Psychiatry*, **11**, 74. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00074>
214. Thoma, M.V., N. Rohleder, and S.L. Rohner, 2021: Clinical ecopsychology: The mental health impacts and underlying pathways of the climate and environmental crisis. *Frontiers in Psychiatry*, **12**, 675936. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.675936>

215. Berman, J.D., M.R. Ramirez, J.E. Bell, R. Bilotta, F. Gerr, and N.B. Fethke, 2021: The association between drought conditions and increased occupational psychosocial stress among U.S. farmers: An occupational cohort study. *Science of The Total Environment*, **798**, 149245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149245>
216. Liang, Y., B. Janssen, C. Casteel, M. Nonnenmann, and D.S. Rohlman, 2021: Agricultural cooperatives in mental health: Farmers' perspectives on potential influence. *Journal of Agromedicine*, **27** (2), 143–153. <https://doi.org/10.1080/1059924x.2021.2004962>
217. Nuako, A., J. Liu, G. Pham, N. Smock, A. James, T. Baker, L. Bierut, G. Colditz, and L.-S. Chen, 2022: Quantifying rural disparity in healthcare utilization in the United States: Analysis of a large midwestern healthcare system. *PLoS ONE*, **17** (2), e0263718. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263718>
218. Kirby, J.B., S.H. Zuvekas, A.E. Borsky, and Q. Ngo-Metzger, 2019: Rural residents with mental health needs have fewer care visits than urban counterparts. *Health Affairs*, **38** (12), 2057–2060. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2019.00369>
219. Schultz, K., S. Farmer, S. Harrell, and C. Hostetter, 2021: Closing the gap: Increasing community mental health services in rural Indiana. *Community Mental Health Journal*, **57**, 684–700. <https://doi.org/10.1007/s10597-020-00737-x>
220. Hoppe, B.O., K.K. Raab, E.E. Waldhart, E.D. Waage, M.L. Varien, and J.E. Davis, 2022: Advancing Health & Disaster Resiliency in Minnesota: Co-producing Climate & Health Information for the Emergency Management Sector. Minnesota Department of Health, Minnesota Climate and Health Program, St. Paul, MN. <https://www.lrl.mn.gov/docs/2022/other/221077.pdf>
221. Martinich, J. and A. Crimmins, 2019: Climate damages and adaptation potential across diverse sectors of the United States. *Nature Climate Change*, **9** (5), 397–404. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0444-6>
222. Hsiang, S., R. Kopp, A. Jina, J. Rising, M. Delgado, S. Mohan, D.J. Rasmussen, R. Muir-Wood, P. Wilson, M. Oppenheimer, K. Larsen, and T. Houser, 2017: Estimating economic damage from climate change in the United States. *Science*, **356** (6345), 1362–1369. <https://doi.org/10.1126/science.aal4369>
223. Bikomeye, J.C., S. Namin, C. Anyanwu, C.S. Rublee, J. Ferschinger, K. Leinbach, P. Lindquist, A. Hoppe, L. Hoffman, J. Hegarty, D. Sperber, and K.M.M. Beyer, 2021: Resilience and equity in a time of crises: Investing in public urban greenspace is now more essential than ever in the US and beyond. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18** (16), 8420. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168420>
224. Dalbotten, D.M., E. Ito, S. Eriksson, H. Pellerin, L. Greensky, C. Kowalczak, and A. Berthelote, 2017: Gidakiimaanawigamig's circle of learning: A model for partnership between Tribal community and research university. *Interdisciplinary Journal of Partnership Studies*, **4** (3). <https://doi.org/10.24926/ijps.v4i3.176>
225. Ebi, K.L., J. Vanos, J.W. Baldwin, J.E. Bell, D.M. Hondula, N.A. Errett, K. Hayes, C.E. Reid, S. Saha, J. Spector, and P. Berry, 2021: Extreme weather and climate change: Population health and health system implications. *Annual Review of Public Health*, **42** (1), 293–315. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-012420-105026>
226. Houghton, A. and C. Castillo-Salgado, 2019: Associations between green building design strategies and community health resilience to extreme heat events: A systematic review of the evidence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16** (4), 663. <https://doi.org/10.3390/ijerph16040663>
227. NCEH, 2022: Climate and Health: A Guide for Cross-Sector Collaboration. Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Environmental Health. <https://www.cdc.gov/climateandhealth/docs/crosssectorclimateandhealth.pdf>
228. Lookadoo, R.E. and J.E. Bell, 2020: Public health policy actions to address health issues associated with drought in a changing climate. *The Journal of Law, Medicine & Ethics*, **48** (4), 653–663. <https://doi.org/10.1177/1073110520979372>
229. MNHSEM, 2019: Minnesota State Hazard Mitigation Plan. Minnesota Homeland Security and Emergency Management. <https://dps.mn.gov/divisions/hsem/hazard-mitigation/documents/2019-mn-hmp-only.pdf>
230. FEMA, 2021: 2022–2026 FEMA Strategic Plan: Building the FEMA Our Nation Needs and Deserves. U.S. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency. <https://www.fema.gov/about/strategic-plan>
231. National Research Council, 2012: *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press, Washington, DC, 400 pp. <https://doi.org/10.17226/13165>

232. NGSS, 2023: Next Generation of Science Standards [Website], accessed May 3, 2023. <https://www.nextgenscience.org/>
233. NSTA, 2014: National Science Teaching Association [Website], accessed May 3, 2023. <https://www.nsta.org/science-standards>
234. Muhich, T.E. and R.B. Rood, 2022: CCE for me: Students demand high-quality climate change course offerings. *The Science Teacher*, **90** (1). <https://www.nsta.org/science-teacher/science-teacher-septemberoctober-2022/cce-me>
235. Midwest CASC, n.d.: Midwest Climate Adaptation Science Center. U.S. Geological Survey, accessed August 14, 2023. <https://www.usgs.gov/programs/climate-adaptation-science-centers/midwest-casc>
236. ASCE, 2021: A Comprehensive Assessment of America's Infrastructure: 2021 Report Card for America's Infrastructure. American Society of Civil Engineers. <https://infrastructurereportcard.org/>
237. de Abreu, V.H.S., A.S. Santos, and T.G.M. Monteiro, 2022: Climate change impacts on the road transport infrastructure: A systematic review on adaptation measures. *Sustainability*, **14** (14), 8864. <https://doi.org/10.3390/su14148864>
238. Neumann, J.E., P. Chinowsky, J. Helman, M. Black, C. Fant, K. Strzepek, and J. Martinich, 2021: Climate effects on US infrastructure: The economics of adaptation for rail, roads, and coastal development. *Climatic Change*, **167** (3), 44. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03179-w>
239. Khatami, D. and B. Shafei, 2021: Impact of climate conditions on deteriorating reinforced concrete bridges in the US Midwest region. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, **35** (1), 04020129. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001528](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001528)
240. Drum, R.G., J. Noel, J. Kovatch, L. Yeghiazarian, H. Stone, J. Stark, P. Kirshen, E. Best, E. Emery, J. Trimboli, J. Arnold, and D. Raff, 2017: Ohio River Basin-Formulating Climate Change Mitigation/Adaptation Strategies Through Regional Collaboration with the ORB Alliance, May 2017. Civil Works Technical Report, CWTS 2017-01. U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Alexandria, VA. https://biotech.law.lsu.edu/blog/USACE-Ohio-River-Basin-CC-Report_MAY-2017.pdf
241. English, G. and D.C. Hackston, 2013: Environmental and Social Impacts of Marine Transport in the Great Lakes St. Lawrence Seaway Region: Executive Summary. Research and Traffic Group. <https://greatlakes-seaway.com/wp-content/uploads/2019/10/Impacts-Comparison-ExSum.pdf>
242. GLERL, 2022: The Great Lakes Dashboard. National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Oceanic and Atmospheric Research, Great Lakes Environmental Research Laboratory, Ann Arbor, MI. https://www.glerl.noaa.gov/data/dashboard/GLD_HTML5.html
243. Environment Canada and EPA, 2009: Nearshore areas of the Great Lakes, 2009. In: *State of the Lakes Ecosystem Conference 2008*. Environment Canada and U.S. Environmental Protection Agency. https://binational.net/wp-content/uploads/2014/05/SOGL_2009_nearshore_en.pdf
244. Larson, J.H., A.S. Trebitz, A.D. Steinman, M.J. Wiley, M.C. Mazur, V. Pebbles, H.A. Braun, and P.W. Seelbach, 2013: Great Lakes rivermouth ecosystems: Scientific synthesis and management implications. *Journal of Great Lakes Research*, **39** (3), 513-524. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.06.002>
245. Ruswick, T., S. Burkholder, B. Davis, and M. Moffitt, 2021: Healthy Port futures: Rethinking sediments for rivermouth landscapes. *Landscape Architecture Frontiers*, **9** (3), 98-112. <https://doi.org/10.15302/j-laf-1-040027>
246. LCPA, 2022: More than a Port. Toledo-Lucas County Port Authority. <https://www.toledoport.org/about/about-the-port/>
247. Burkholder, S., B. Davis, and T. Ruswick, 2022: Ashtabula. Healthy Port Futures. <https://healthyportfutures.com/project/ashtabula/>
248. Craig, M.T., S. Cohen, J. Macknick, C. Draxl, O.J. Guerra, M. Sengupta, S.E. Haupt, B.M. Hodge, and C. Brancucci, 2018: A review of the potential impacts of climate change on bulk power system planning and operations in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **98**, 255-267. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.022>
249. Bartos, M., M. Chester, N. Johnson, B. Gorman, D. Eisenberg, I. Linkov, and M. Bates, 2016: Impacts of rising air temperatures on electric transmission ampacity and peak electricity load in the United States. *Environmental Research Letters*, **11** (11), 114008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/114008>

250. EIA, 2023: Electricity Data Browser. U.S. Energy Information Administration, accessed May 3, 2023. <https://www.eia.gov/electricity/data/browser/>
251. Austin, J. and A. Hitch, 2020: A Vital Midwest: The Path to a New Prosperity. Chicago Council on Global Affairs. https://globalaffairs.org/sites/default/files/2020-11/ccga_vital_midwest_fullissue_final_0.pdf
252. Lopez, A., A. Levine, and G. Maclaurin. 2019: U.S. Wind Siting Regulation and Zoning Ordinances. U.S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory. <https://doi.org/10.25984/1784284>
253. Willner, S.N., A. Levermann, F. Zhao, and K. Frieler, 2018: Adaptation required to preserve future high-end river flood risk at present levels. *Science Advances*, **4** (1), 1914. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao1914>
254. Kirchmeier-Young, M.C. and X. Zhang, 2020: Human influence has intensified extreme precipitation in North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **117** (24), 13308–13313. <https://doi.org/10.1073/pnas.1921628117>
255. Moftakhari, H.R., A. AghaKouchak, B.F. Sanders, M. Allaire, and R.A. Matthew, 2018: What is nuisance flooding? Defining and monitoring an emerging challenge. *Water Resources Research*, **54** (7), 4218–4227. <https://doi.org/10.1029/2018wr022828>
256. Boustan, L.P., M.E. Kahn, P.W. Rhode, and M.L. Yanguas, 2017: The Effect of Natural Disasters on Economic Activity in US Counties: A Century of Data. Working Paper 23410. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA. <https://doi.org/10.3386/w23410>
257. Strouse, N., R.P. Herman, S.K. Sinha, and E.D. Roos, 2021: Climate Risks and Opportunities in the Great Lakes Region. Environmental Consulting and Technology, Inc., 78 pp. <https://cdn.ymaws.com/www.chicagowilderness.org/resource/resmgr/publications/climaterisksgljan2021.pdf>
258. Wing, O.E.J., W. Lehman, P.D. Bates, C.C. Sampson, N. Quinn, A.M. Smith, J.C. Neal, J.R. Porter, and C. Kousky, 2022: Inequitable patterns of US flood risk in the Anthropocene. *Nature Climate Change*, **12** (2), 156–162. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01265-6>
259. Pinter, N., 2021: True stories of managed retreat from rising waters. *Issues in Science and Technology*, **37** (4), 64–73. <https://issues.org/true-stories-managed-retreat-rising-waters-pinter/>
260. GAO, 2020: National Flood Insurance Program: Fiscal Exposure Persists Despite Property Acquisitions. GAO-20-508. U.S. Government Accountability Office. <https://www.gao.gov/products/gao-20-508>
261. Pinter, N. and J.C. Rees, 2021: Assessing managed flood retreat and community relocation in the Midwest USA. *Natural Hazards*, **107**, 497–518. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04592-1>
262. GSA, 2023: Bipartisan Infrastructure Law (BIL) Maps Dashboard. General Services Administration, accessed May 4, 2023. <https://d2d.gsa.gov/report/bipartisan-infrastructure-law-bil-maps-dashboard>
263. Higgins, P., T. Male, and S.K. Sinha, 2021: Paying for Water Quality Improvements and Resilience in the Great Lakes: Focus on Green Stormwater Infrastructure. Environmental Consulting & Technology, Inc., 22 pp. <https://www.risc.solutions/wp-content/uploads/2021/07/Paying-for-Water-Quality-Improvements-and-Resilience-in-the-Great-Lakes-A-Toolkit-for-Green-Stormwater-Infrastructure.pdf>
264. Sinha, S.K., R. Pettit, J. Ridgway, J. Eidson, J. Silfen, G. Peralta, and G. Cannito, 2017: Public Private Partnerships and Finance of Large-scale Green Infrastructure in the Great Lakes Basin. Environmental Consulting & Technology, Inc., 46 pp. <https://www.risc.solutions/wp-content/uploads/2020/11/Assessing-Market-Size-for-Large-Scale-Green-Infrastructure-Adoption.pdf>
265. USCM and C2ES, 2022: Cities Advancing Climate Action: Leveraging Federal Funds for Local Impact: A Resource Guide. U.S. Conference of Mayors and Center for Climate and Energy Solutions. <https://www.c2es.org/wp-content/uploads/2022/01/cities-advancing-climate-action-leveraging-federal-funds-for-impact.pdf>
266. Sharma, A., P. Conry, H.J.S. Fernando, A.F. Hamlet, J.J. Hellmann, and F. Chen, 2016: Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: Evaluation with a regional climate model. *Environmental Research Letters*, **11** (6), 064004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/6/064004>
267. Höök, T., C. Foley, P. Collingsworth, L. Dorworth, B. Fisher, J. Hoverman, E. LaRue, M. Pyron, J. Tank, M. Widhalm, and J. Dukes, 2018: Aquatic Ecosystems in a Shifting Indiana Climate: A Report from the Indiana Climate Change Impacts Assessment. Aquatic Ecosystems Reports, Paper 1. Purdue University, Purdue Climate Change Research Center. <https://doi.org/10.5703/1288284316782>

268. Kunkel, K.E., T.R. Karl, M.F. Squires, X. Yin, S.T. Stegall, and D.R. Easterling, 2020: Precipitation extremes: Trends and relationships with average precipitation and precipitable water in the contiguous United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **59** (1), 125–142. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-19-0185.1>
269. Kovacs, T. and K. Barrett, 2020: Michigan Climate Assessment 2019: Considering Michigan's Future in a Changing Climate. Michigan Climate Assessment, 1. Eastern Michigan University, Environmental Science and Society, 186 pp. https://commons.emich.edu/michigan_climate2019/1/
270. Zeng, X., P. Broxton, and N. Dawson, 2018: Snowpack change from 1982 to 2016 over conterminous United States. *Geophysical Research Letters*, **45** (23), 12940–12947. <https://doi.org/10.1029/2018gl079621>
271. Ashley, W.S., A.M. Haberlie, and V.A. Gensini, 2020: Reduced frequency and size of late-twenty-first-century snowstorms over North America. *Nature Climate Change*, **10** (6), 539–544. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0774-4>
272. Chen, H., J. Sun, and W. Lin, 2020: Anthropogenic influence would increase intense snowfall events over parts of the Northern Hemisphere in the future. *Environmental Research Letters*, **15** (11), 114022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc93>
273. Dierauer, J.R. and C. Zhu, 2020: Drought in the twenty-first century in a water-rich region: Modeling study of the Wabash River watershed, USA. *Water*, **12** (1), 181. <https://doi.org/10.3390/w12010181>
274. Overpeck, J.T. and B. Udall, 2020: Climate change and the aridification of North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **117** (22), 11856–11858. <https://doi.org/10.1073/pnas.2006323117>
275. Alizadeh, M.R., J. Adamowski, M.R. Nikoo, A. AghaKouchak, P. Dennison, and M. Sadegh, 2020: A century of observations reveals increasing likelihood of continental-scale compound dry-hot extremes. *Science Advances*, **6** (39), 4571. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz4571>
276. Gautam, S., C. Costello, C. Baffaut, A. Thompson, and E.J. Sadler, 2021: Projection of future drought and extreme events occurrence in Goodwater Creek Experimental Watershed, Midwestern US. *Hydrological Sciences Journal*, **66** (6), 1045–1058. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1906878>
277. Wu, W.-Y., M.-H. Lo, Y. Wada, J.S. Famiglietti, J.T. Reager, P.J.F. Yeh, A. Ducharme, and Z.-L. Yang, 2020: Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. *Nature Communications*, **11** (1), 3710. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17581-y>
278. Hare, D.K., A.M. Helton, Z.C. Johnson, J.W. Lane, and M.A. Briggs, 2021: Continental-scale analysis of shallow and deep groundwater contributions to streams. *Nature Communications*, **12** (1), 1450. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21651-0>
279. USGS, 2021: Principal Aquifers of the United States. U.S. Geological Survey, accessed October 4, 2022. <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/principal-aquifers-united-states#overview>
280. Ho, J.C. and A.M. Michalak, 2020: Exploring temperature and precipitation impacts on harmful algal blooms across continental U.S. lakes. *Limnology and Oceanography*, **65** (5), 992–1009. <https://doi.org/10.1002/lno.11365>
281. Wilkinson, G.M., J.A. Walter, C.D. Buelo, and M.L. Pace, 2022: No evidence of widespread algal bloom intensification in hundreds of lakes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **20** (1), 16–21. <https://doi.org/10.1002/fee.2421>
282. ECCC and EPA, 2022: State of the Great Lakes 2022 Report: An Overview of the Status and Trends of the Great Lakes Ecosystem. EPA 905-R-22-001. Environment and Climate Change Canada and U.S. Environmental Protection Agency. <https://binational.net/wp-content/uploads/2022/07/State-of-the-Great-Lakes-2022-Report.pdf>
283. O'Reilly, C.M., S. Sharma, D.K. Gray, S.E. Hampton, J.S. Read, R.J. Rowley, P. Schneider, J.D. Lenters, P.B. McIntyre, B.M. Kraemer, G.A. Weyhenmeyer, D. Straile, B. Dong, R. Adrian, M.G. Allan, O. Anneville, L. Arvola, J. Austin, J.L. Bailey, J.S. Baron, J.D. Brookes, E. de Eyto, M.T. Dokulil, D.P. Hamilton, K. Havens, A.L. Hetherington, S.N. Higgins, S. Hook, L.R. Izmet'eva, K.D. Joehnk, K. Kangur, P. Kasprzak, M. Kumagai, E. Kuusisto, G. Leshkevich, D.M. Livingstone, S. MacIntyre, L. May, J.M. Melack, D.C. Mueller-Navarra, M. Naumenko, P. Noges, T. Noges, R.P. North, P.-D. Plisnier, A. Rigosi, A. Rimmer, M. Rogora, L.G. Rudstam, J.A. Rusak, N. Salmaso, N.R. Samal, D.E. Schindler, S.G. Schladow, M. Schmid, S.R. Schmidt, E. Silow, M.E. Soyulu, K. Teubner, P. Verburg, A. Voutilainen, A. Watkinson, C.E. Williamson, and G. Zhang, 2015: Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters*, **42** (24), 10773–10781. <https://doi.org/10.1002/2015gl066235>
284. Gronewold, A.D. and R.B. Rood, 2019: Recent water level changes across Earth's largest lake system and implications for future variability. *Journal of Great Lakes Research*, **45** (1), 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.10.012>

285. Gronewold, A.D., H.X. Do, Y. Mei, and C.A. Stow, 2021: A tug-of-war within the hydrologic cycle of a continental freshwater basin. *Geophysical Research Letters*, **48** (4), e2020GL090374. <https://doi.org/10.1029/2020gl090374>
286. Millerd, F., 2011: The potential impact of climate change on Great Lakes international shipping. *Climatic Change*, **104** (3), 629–652. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9872-z>
287. Theuerkauf, E.J. and K.N. Braun, 2021: Rapid water level rise drives unprecedented coastal habitat loss along the Great Lakes of North America. *Journal of Great Lakes Research*, **47** (4), 945–954. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.05.004>
288. Huang, C., E. Anderson, Y. Liu, G. Ma, G. Mann, and P. Xue, 2022: Evaluating essential processes and forecast requirements for meteotsunami-induced coastal flooding. *Natural Hazards*, **110** (3), 1693–1718. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05007-x>
289. Xue, P., X. Ye, J.S. Pal, P.Y. Chu, M.B. Kayastha, and C. Huang, 2022: Climate projections over the Great Lakes region: Using two-way coupling of a regional climate model with a 3-D lake model. *Geoscientific Model Development*, **15** (11), 4425–4446. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-4425-2022>
290. McKenna Jr, J.E., 2019: The Laurentian Great Lakes: A case study in ecological disturbance and climate change. *Fisheries Management and Ecology*, **26** (6), 486–499. <https://doi.org/10.1111/fme.12317>
291. Mason, L.A., C.M. Riseng, A.D. Gronewold, E.S. Rutherford, J. Wang, A. Clites, S.D.P. Smith, and P.B. McIntyre, 2016: Fine-scale spatial variation in ice cover and surface temperature trends across the surface of the Laurentian Great Lakes. *Climatic Change*, **138** (1), 71–83. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1721-2>
292. U.S. Federal Government, 2022: Case Studies [Webpage], accessed September 6, 2022. <https://toolkit.climate.gov/case-studies>
293. NIDIS, 2023: What Is NIDIS? National Integrated Drought Information System, accessed April 27, 2023. <https://www.drought.gov/about>
294. NIDIS and NOAA, 2021: 2021–2024 Midwest Drought Early Warning System Strategic Action Plan. National Integrated Drought Information System and National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.drought.gov/documents/2021-2024-midwest-drought-early-warning-system-strategic-action-plan>
295. NOAA, 2022: Runoff Risk Decision Support. National Oceanic and Atmospheric Administration, accessed October 7, 2022. <https://www.noaa.gov/runoff-risk-decision-support>
296. Lu, C., J. Zhang, H. Tian, W.G. Crumpton, M.J. Helmers, W.-J. Cai, C.S. Hopkinson, and S.E. Lohrenz, 2020: Increased extreme precipitation challenges nitrogen load management to the Gulf of Mexico. *Communications Earth & Environment*, **1** (1), 21. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00020-7>
297. Tewari, M., C.M. Kishtawal, V.W. Moriarty, P. Ray, T. Singh, L. Zhang, L. Treinish, and K. Tewari, 2022: Improved seasonal prediction of harmful algal blooms in Lake Erie using large-scale climate indices. *Communications Earth & Environment*, **3** (1), 195. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00510-w>
298. NOAA, 2023: NOAA Great Lakes Region. National Oceanic and Atmospheric Administration, accessed May 5, 2023. <https://www.noaa.gov/regional-collaboration-network/regions-great-lakes>
299. Makra, E. and N. Gardiner, 2021: Climate Action Plan for the Chicago Region. Metropolitan Mayors Caucus, National Oceanic and Atmospheric Administration, and U.S. Climate Resilience Toolkit. https://mayorscaucus.org/wp-content/uploads/2021/06/RegionalCAP_primary_and_appendices_062321-02.pdf
300. WICCI, 2021: Wisconsin’s Changing Climate: Impacts and Solutions for a Warmer Climate. 2021 Assessment Report. University of Wisconsin-Madison, Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts and the Wisconsin Department of Natural Resources, Madison, WI. <https://wicci.wisc.edu/2021-assessment-report/>
301. Seglenieks, F. and A. Temgoua, 2022: Future water levels of the Great Lakes under 1.5°C to 3°C warmer climates. *Journal of Great Lakes Research*, **48** (4), 865–875. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2022.05.012>