

Indicadores



Anexo 4. Indicadores

Autores y colaboradores

Autor principal de coordinación federal

Michael Kolian, US Department of Energy

Autora principal del capítulo

Laura E. Stevens, North Carolina State University

Autores

Derek Arndt, NOAA National Centers for Environmental Information

Jessica Blunden, NOAA National Centers for Environmental Information

Erik W. Johnson, USDA Forest Service, Office of Sustainability and Climate

Ann Y. Liu, National Institute of Environmental Health Sciences/Kelly Government Solutions

Sheri Spiegel, USDA Agricultural Research Service, Jornada Experimental Range

Contribuyentes técnicos

Rebecca L. Achey, University of Colorado

Seth Bogle, USDA Forest Service, Geospatial Technology and Applications Center

Boyin Huang, NOAA National Centers for Environmental Information

Willem Klajbor, University of Miami, Cooperative Institute for Marine and Atmospheric Studies

Jennifer Lecker, USDA Forest Service

AnnaClaire Marley, Eastern Research Group Inc.

Miranda H. Mockrin, USDA Forest Service, Northern Research Station

Matthew C. Reeves, USDA Forest Service

Jared Rennie, NOAA National Centers for Environmental Information

William L. Royer, USDA Forest Service

Hua Shi, US Geological Survey, Earth Resources Observation and Science Center/ASRC Federal Data Solutions

William Sweet, NOAA National Ocean Service

Russell S. Vose, NOAA National Centers for Environmental Information

Steven E. Yochum, USDA Forest Service, National Stream and Aquatic Ecology Center

Editor revisor

Azar M. Abadi, University of Alabama at Birmingham

Arte de apertura de capítulo

Meredith Nemirov

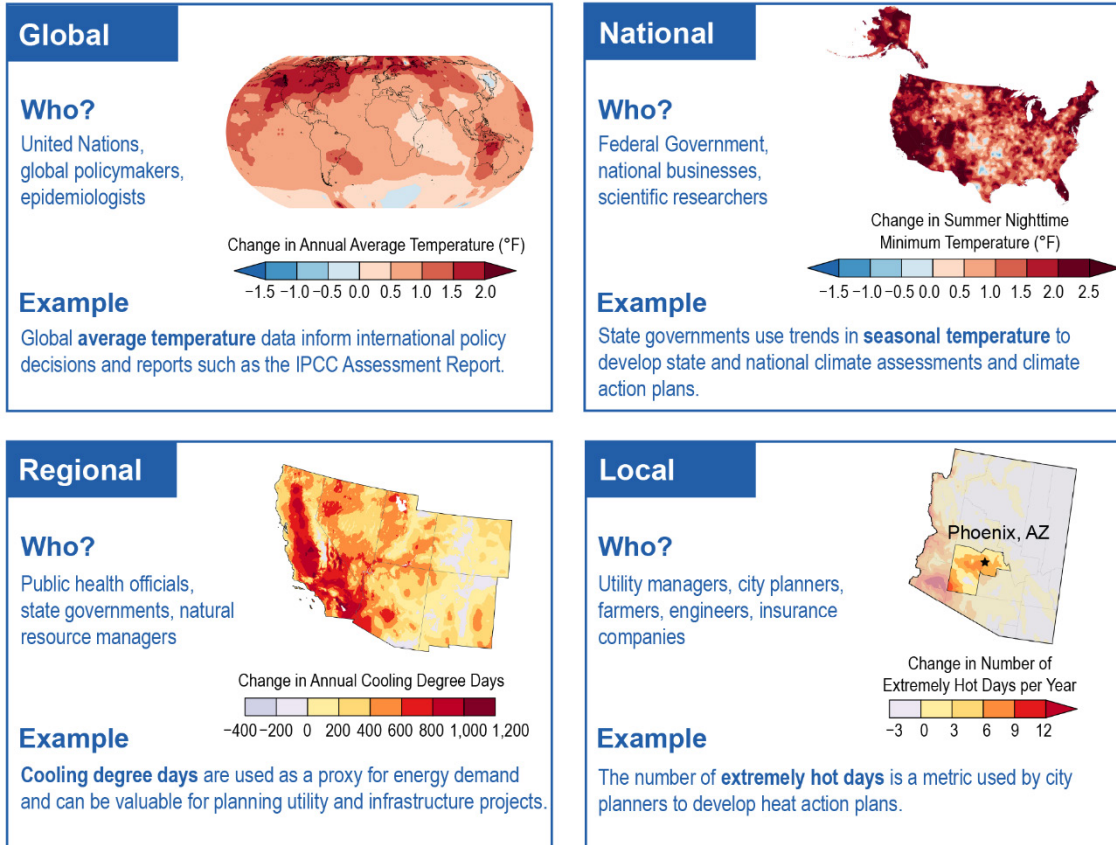
Cita recomendada

Stevens, L.E., M. Kolian, D. Arndt, J. Blunden, E.W. Johnson, A.Y. Liu, and S. Spiegel, 2023: Anexo 4: Indicadores. 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.A4.ES>

A4.1. La importancia de los indicadores

Para evaluar los impactos del cambio climático, es esencial comprender primero las múltiples formas en que está cambiando nuestro clima. Los indicadores caracterizan cómo cambian las condiciones medioambientales a lo largo del tiempo para ayudar a comunicar los impactos climáticos, los riesgos y las vulnerabilidades. Los indicadores proporcionan los fundamentos científicos en apoyo del proceso de evaluación continua del Programa Estadounidense de Investigación sobre el Cambio Global (US Global Change Research Program, USGCRP), incluida la Evaluación Nacional del Clima (National Climate Assessment, NCA). En la NCA, los indicadores se definen como datos (presentados en forma de gráficos o mapas) basados en observaciones y mediciones históricas que se utilizan para hacer un seguimiento de las condiciones, las tendencias y los impactos relacionados con nuestro clima cambiante. Los indicadores muestran cambios en los sistemas físicos, ecológicos o sociales y pueden representar datos a distintas escalas, desde la mundial a la local (Figura A4.1). Los indicadores son más valiosos cuando se mantienen y actualizan de forma periódica, de modo que los usuarios y las partes interesadas puedan tomar decisiones informadas basadas en la información más actualizada. Tomados individualmente, cada indicador representa un cambio específico a lo largo del tiempo, mientras que un amplio conjunto de indicadores ayuda a mostrar las interconexiones entre los muchos componentes del cambio mundial y un mundo en calentamiento (Recuadro A4.1)¹. Aunque cada indicador tiene una relación importante con el clima², explorar estas conexiones en detalle va más allá del alcance de este anexo. La atribución y la causalidad relacionadas con un clima cambiante se analizan en otros capítulos de la Quinta Evaluación Nacional del Clima (Fifth National Climate Assessment, NCA5) (p. ej., Capítulos 2, 3 y 15).

Cambios de temperatura a múltiples escalas



La presentación de indicadores a diferentes escalas permite a las partes interesadas obtener información relevante para sus necesidades.

Figura A4.1. Muchas personas utilizan indicadores relacionados con el clima para tomar decisiones sobre recursos y gestión, desde pequeños agricultores hasta legisladores mundiales. Los distintos indicadores son pertinentes a diferentes escalas geográficas, según quién utilice la información y con qué fin. En esta figura, los indicadores de temperatura se muestran a cuatro escalas, y cada mapa representa patrones espaciales en la cantidad de cambio observado: **(arriba a la izquierda)** promedio anual de temperatura global para el período 1993-2022, en relación con 1901-1960; **(arriba a la derecha)** temperatura mínima nocturna durante el verano a nivel nacional (los EE. UU. contiguos y Alaska) para 1993-2022, en relación con 1901-1960 (en relación con 1926-1960 para Alaska; no se dispone de datos para el Caribe estadounidense, Hawái o las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU.); **(abajo a la izquierda)** grados-días de enfriamiento a escala regional (región Suroeste) para 1993-2022, en relación con 1951-1980; y **(abajo a la derecha)** número de días con temperaturas máximas de 110 °F o superiores a escala local (condado de Maricopa, Arizona) para 1993-2022, en relación con 1951-1980. Los datos utilizados para los indicadores regionales y locales solo están disponibles a partir de 1951. En general, se han producido aumentos en cada métrica desde el inicio de sus respectivos registros, con variaciones importantes que son relevantes para los tomadores de decisiones a cada escala (consulte la Sección A4.2 para explicaciones adicionales). Créditos de la figura: North Carolina State University y NOAA NCEI.

Los indicadores son necesarios para apoyar la toma de decisiones y describir y monitorear los impactos sobre las personas. Combinados con otros datos, como información demográfica y socioeconómica (p. ej., Figuras A4.4, A4.14, 11.13), su utilidad es cada vez mayor, con muchos avances en los últimos años (p. ej., Di Napoli *et al.* 2022³, Kenney *et al.* 2020⁴, Walsh *et al.* 2020⁵). Los indicadores están siendo desarrollados por las agencias del USGCRP (Recuadro A4.1), sus socios, instituciones académicas y comunidades estatales, locales e indígenas. La forma, la complejidad, la amplitud y el diseño de los indicadores varían con base en los usos a los que se destinan, pero los indicadores efectivos transmiten de manera clara información para

avanzar en la comprensión relacionada con los cambios en los aspectos clave del clima y los impactos sobre las personas y los ecosistemas. Medir los efectos del cambio climático sobre la salud y la sociedad es un desafío debido a las complejas relaciones, a menudo indirectas, entre los factores climáticos, medioambientales y sociales, y las repercusiones en la salud^{6,7}. Cada vez más, los datos físicos, ecológicos y socioeconómicos se vinculan entre sí para hacer un mejor seguimiento de los impactos en los sistemas humanos, lo que permite a las comunidades evaluar los riesgos y tomar decisiones informadas de respuesta y adaptación. En el contexto de la salud humana, la identificación de conjuntos de indicadores a lo largo de las trayectorias de exposición puede ayudar a rastrear la naturaleza interconectada de las exposiciones y la prevalencia de las repercusiones en la salud^{7,8}. Este enfoque holístico puede suministrar información sobre la medida en que los cambios climáticos afectan a las personas y ayudar a identificar oportunidades para que las acciones de salud pública reduzcan o prevengan las exposiciones y los efectos adversos para la salud.

Recuadro A4.1. Recursos de los indicadores federales

El Programa Estadounidense de Investigación sobre el Cambio Global (US Global Change Research Program, USGCRP) coordina los esfuerzos para resaltar los indicadores relevantes para el clima de todas las agencias federales. El Grupo de Trabajo Interinstitucional sobre Indicadores del USGCRP orienta este esfuerzo mediante el fomento de la investigación, el desarrollo y la integración de indicadores en las actividades y productos del USGCRP y destaca un subconjunto de éstos en la [Plataforma de indicadores del USGCRP](#) (Figura A4.2)⁹. Los indicadores alojados en la plataforma consisten en datos y métodos de observación revisados por pares de entidades federales y se actualizan de manera periódica. Cumplen los estándares establecidos por la Ley de Calidad de la Información en materia de calidad, transparencia y trazabilidad de los datos (Anexo 2).

Plataforma de indicadores del USGCRP

U.S. Global Change Research Program

About Us | Our Work | Reports | Resources

USGCRP Indicators Platform

The USGCRP Indicators Platform is an interagency collaboration that leverages efforts from across the USGCRP agencies and highlights key climate information in the form of indicators.

These indicators provide foundational science in support of USGCRP sustained assessment products including the National Climate Assessment, showcase examples from Federal agency-specific indicator efforts, and connect Federal agency research and science to USGCRP priorities. USGCRP's Indicators Interagency Workgroup maintains this website and provides coordination of indicator efforts across the 14 member agencies of USGCRP.

Filters

Home / USGCRP Indicators Platform

Sort: A-Z

Topic

- Adaptation
- Agriculture & Food
- Arctic
- Carbon Cycle
- Cities & Infrastructure
- Coasts
- Cryosphere
- Ecosystems & Biodiversity
- Energy
- Extreme Events
- Human Health
- International
- Land Use & Land Cover
- Mitigation
- Oceans
- Physical Climate
- Seasonality
- Societal Impacts
- Vulnerability

Annual Greenhouse Gas Index

Indicators are based on observed data that can be used to track and communicate climate-related conditions, trends, and impacts.

Indicators—which may be physical, ecological, health or societal—can be used to assess risks and vulnerabilities and help inform resiliency and adaptation planning in a changing climate.

Go beyond the data and explore climate indicators with an [interactive Story Map](#) developed by the USDA Forest Service with support from the Environmental Protection Agency. Explore the climate story through observations including human consequences of climate change, adaptation, and resilience. Examine observed evidence of changes in greenhouse gases, weather and climate, oceans, snow and ice and how these changes can impact health and society.

View the eighteen USGCRP indicators below, or use the filters to search by topic or USGCRP agency

Annual Greenhouse Gas Index

The Annual Greenhouse Gas Index (AGGI) is a measure of the capacity of Earth's atmosphere to trap heat as a result of the presence of long-lived greenhouse gases. The AGGI provides standardized information about how human activity has affected the climate system through greenhouse gas emissions.

[Read More](#)

CARBON CYCLE | ENERGY | INTERNATIONAL | MITIGATION | PHYSICAL CLIMATE

Arctic Glacier Mass Balance

Eight routinely-measured glaciers located north of the Arctic Circle show the cumulative change in mass balance, or the net gain or loss of snow and ice (accumulation vs. melting and sublimation), since 1945.

[Read More](#)

ARCTIC | CRYOSPHERE | PHYSICAL CLIMATE

La Plataforma de indicadores del USGCRP aprovecha la ciencia y los datos de las agencias para comprender cómo están cambiando las condiciones medioambientales, de salud y sociales.

Figura A4.2. Captura de pantalla de la Plataforma de indicadores del USGCRP: <https://www.globalchange.gov/indicators/>. Créditos de la figura: USGCRP 2023⁹.

Otros indicadores federales relacionados con el clima

- [Indicadores de seguimiento del cambio climático en la salud pública medioambiental nacional de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades \(Centers for Disease Control and Prevention, CDC\)](#)¹⁰
- [Indicadores sobre el cambio climático en Estados Unidos de la Agencia de Protección Ambiental \(Environmental Protection Agency, EPA\)](#)²
- [Visualizador de mapas de indicadores climáticos de la EPA](#)¹¹
- [Los signos vitales del planeta de la NASA](#)¹²
- [Indicadores de los ecosistemas marinos nacionales de la NOAA](#)¹³
- [Resúmenes climáticos estatales de la NOAA](#)¹⁴
- [Indicadores climáticos para la Agricultura del USDA](#)⁵

Los indicadores aparecen en todas las NCA, y cada informe ofrece nuevas formas de evaluar los cambios observados. Este anexo marca la primera vez que se establece una sección de la NCA para presentar y debatir indicadores relevantes a nivel nacional. Destaca el importante papel de los indicadores y apoya a la NCA con evidencias científicas, utilizando un conjunto representativo de indicadores relevantes para múltiples capítulos. Los cambios observados relevantes para cada capítulo regional pueden representarse con indicadores, como se muestra en la Tabla A4.1. Los indicadores de este anexo se agrupan en seis categorías (atmósfera; hielo, nieve y agua; océano y costas; tierra y ecosistemas; salud; y adaptación y mitigación), que se basan en la figura de Indicadores de Cambio de la Cuarta Evaluación Nacional del Clima (Fourth National Climate Assessment, NCA4) (Figura 1.2 en Jay *et al.* 2018¹). Los ejemplos de cada categoría se seleccionaron para cubrir una amplia gama de regiones, destacar tanto los indicadores existentes como los de nuevo desarrollo y centrarse en temas relevantes para las poblaciones urbanas y rurales, así como para el medioambiente natural. Estos y muchos otros indicadores de la NCA5 demuestran que el cambio climático ya está ocurriendo (Tabla A4.1; KM 2.1; Figuras 28.1, 30.5).

Tabla A4.1. Cambios regionales observados

Esta tabla muestra los cambios observados pertinentes para cada región de la NCA, junto con las evidencias de apoyo a los mensajes clave de la NCA5 asociados y ejemplos de indicadores. Los cambios observados son solo ejemplos seleccionados y no indican necesariamente qué riesgos relacionados con el clima son los más importantes en cada zona. Consulte los capítulos regionales para conocer más detalles sobre estos cambios observados y los impactos climáticos relacionados.

Región	Cambio observado	Mensaje clave	Ejemplo de indicador
Noreste	 Aumento de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones	KM 21.2	Figura 2.8, Figura 21.1
	 Aumento de la temperatura del mar	KM 21.2	Figura A4.11, Figura 21.4
	 Aumento de los niveles del mar	KM 21.2	Figura A4.10, Figura 2.5
Sureste	 Aumento de frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor	KM 22.2	
	 Aumento del riesgo de incendios forestales	KM 22.2	Figura A4.14
	 Aumento de los niveles del mar	KM 21.4	Figura 2.5
Caribe estadounidense	 Aumento de la temperatura del aire	Capítulo 23, Introducción	Figura 1.5
	 Aumento de la temperatura del mar	Capítulo 23, Introducción	Figura A4.11
	 Aumento de la contaminación del aire	KM 23.1	
Medio Oeste	 Precipitaciones cada vez más variables	KM 24.1	Figura 2.4, Figura 2.8
	 Alargamiento del período de cultivo	KM 24.1	Figura 24.3
	 Cambios en la cantidad, la calidad y la temperatura del agua de los Grandes Lagos	KM 24.5	Figura 24.13
Grandes Llanuras del Norte	 Aumento de las temperaturas invernales	KM 25.1	Figura 2.4
	 Aumento del riesgo de incendios forestales	KM 25.1	Figura A4.14
	 Aumento de la frecuencia de las inundaciones primaverales	KM 25.1	

Región	Cambio observado	Mensaje clave	Ejemplo de indicador
Grandes Llanuras del Sur	 Aumento de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones	Capítulo 26, Introducción	Figura 2.8, Figura 26.1
	 Aumento de la temperatura del mar	KM 26.3	Figura A4.11
	 Aumento de los niveles del mar	KM 26.5	Figura 2.5
Noroeste	 Disminución de la capa de nieve	Capítulo 27, Introducción	Figura A4.7
	 Deshielo de los glaciares	Capítulo 27, Introducción	
	 Aumento de los niveles del mar	Capítulo 27, Introducción	Figura 2.5
Suroeste	 Disminución de los caudales de los principales ríos	KM 28.1	Figura 4.18, Figura 7.9
	 Aumento del riesgo de incendios forestales	KM 28.5	Figura A4.14
	 Aumento del número de olas de calor marinas	KM 28.2	Figura A4.11, Figura 28.4
Alaska	 Deshielo del permafrost	Capítulo 29, Introducción	
	 Aumento de la temperatura del mar	Capítulo 29, Introducción	Figura A4.11
	 Disminución del hielo marino	Capítulo 29, Introducción	Figura A4.6, Figura 2.3
Hawái y las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU	 Aumento de la frecuencia, la severidad y la duración de las sequías	Capítulo 30, Introducción	
	 Aumento de la actividad ciclónica tropical	KM 30.2	
	 Aumento de los niveles del mar	KM 30.3	Figura 2.5

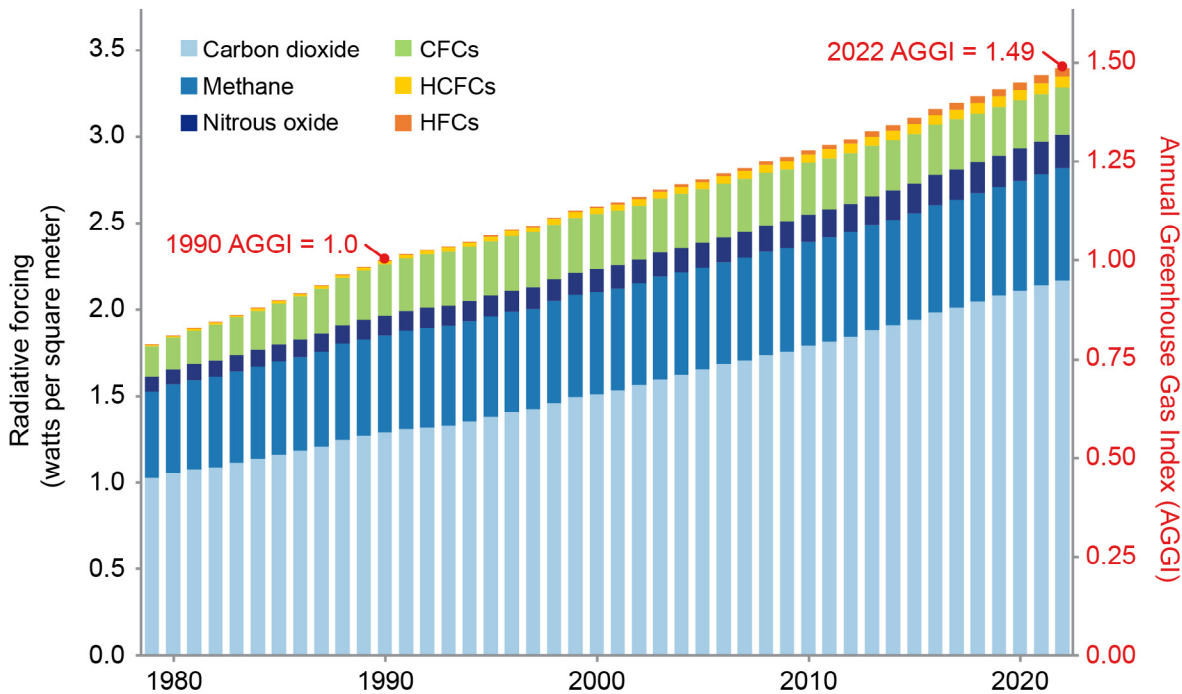
A4.2. Indicadores atmosféricos

Tanto globalmente como en los EE. UU., las temperaturas están aumentando como consecuencia del incremento de los gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG) en nuestra atmósfera (Figuras 1.5, 2.4), provocado principalmente por las actividades humanas (Figuras 2.1, 3.1; KM 2.1, 3.1). Los eventos extremos, como olas de calor, aguaceros e inundaciones severas, también están aumentando en frecuencia e intensidad (KM 2.2; Figuras 2.8, 21.1, A4.8). Los indicadores atmosféricos se utilizan para fundamentar la toma de decisiones en una amplia variedad de escalas (Figura A4.1) y a menudo constituyen la base para evaluar tendencias, impactos y riesgos clave¹⁵ entre todos los sectores.

Gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero son el principal motor del cambio climático (KM 2.1, 3.1), por lo que el seguimiento de las emisiones es fundamental para comprender y responder a este. La Figura 2.1 muestra el aumento continuo de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por parte de los principales países y regiones emisoras. El indicador del Índice Anual de Gases de Efecto Invernadero (Figura A4.3) contabiliza las emisiones mundiales de CO₂ y los demás gases de efecto invernadero de larga vida desde 1979 hasta 2022 y muestra cómo los efectos acumulativos de calentamiento de estos GHG han ido aumentando con el tiempo.

Índice Anual de Gases de Efecto Invernadero



Los efectos de calentamiento de los gases de efecto invernadero aumentan a lo largo del tiempo.

Figura A4.3. El forzamiento radiativo (eje vertical izquierdo) es el cambio, positivo o negativo, en la cantidad de energía procedente del sol que es atrapada por la atmósfera terrestre. El aumento de la cantidad de forzamiento radiativo provocará un calentamiento. El Índice Anual de Gases de Efecto Invernadero (Annual Greenhouse Gas Index, AGGI; eje vertical derecho) compara el forzamiento radiativo total de cada año entre 1979 y 2022 con el año 1990 (representado por un punto rojo). El año 1990 se seleccionó como año de comparación porque es el año en que se firmó el Protocolo de Montreal¹⁶ por lo que su valor de AGGI se designa aquí como 1.0. El AGGI de 2022 (también representado por un punto rojo) fue de 1.49, lo que indica que la influencia promedio de calentamiento de los gases de efecto invernadero de larga vida en la atmósfera ha aumentado un total del 49 % desde 1990. El

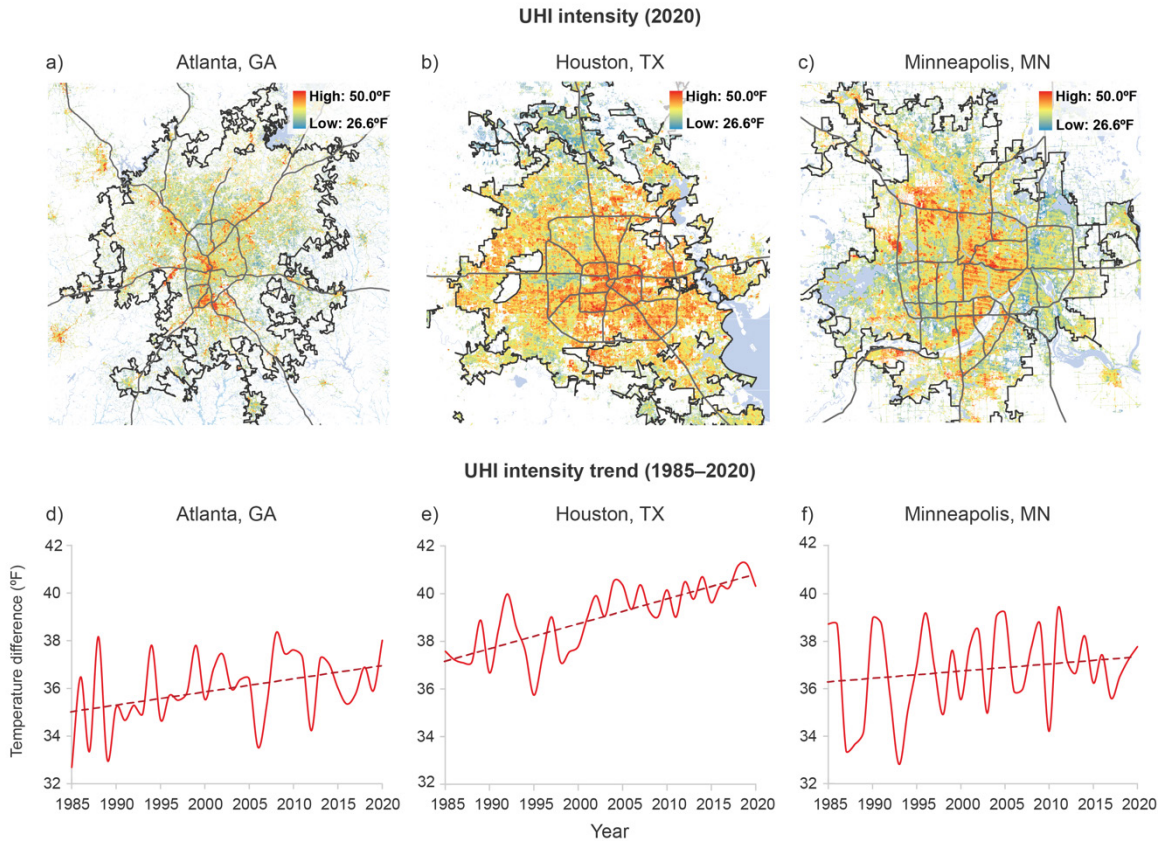
aumento del forzamiento radiativo provoca un aumento de las temperaturas, tanto en los océanos como en tierra firme. Los indicadores de estos cambios e impactos se encuentran en este anexo y a lo largo de todo el informe. CFC = clorofluorocarburos, HFC = hidrofluorocarburos, HCFC = hidroclorofluorocarburos. Adaptado de USGCRP 2023¹⁷.

Temperatura y calor extremo

Las observaciones a largo plazo muestran que el calentamiento debido al cambio climático es inequívoco, pero no se está produciendo por igual ni en todas las zonas (Figuras A4.1, 2.4, 2.7). La Figura A4.1 muestra cuatro indicadores de temperatura diferentes, valiosos para los tomadores de decisiones a múltiples escalas. A nivel mundial, las temperaturas promedio anuales han aumentado en casi todas partes, y los mayores incrementos se han observado en Norteamérica y el Ártico (Figura A4.1, arriba a la izquierda). A escala nacional, las noches se han calentado más rápidamente que los días (KM 2.2), observándose los mayores aumentos de las temperaturas mínimas nocturnas en verano en amplias zonas de Alaska, Florida y el oeste y el Noreste de Estados Unidos (Figura A4.1, arriba a la derecha). A escala regional, los grados-días de enfriamiento (un indicador de la demanda de energía utilizada para enfriar edificios) han aumentado en todo el Suroeste, siendo California la región que ha experimentado los mayores cambios (Figura A4.1, abajo a la izquierda). Y a nivel local, el número de días al año con temperaturas que alcanzan los 110 °F o más ha aumentado en todo el condado de Maricopa, Arizona, con el área de Phoenix experimentando notables aumentos en el número de días extremadamente calurosos (Figura A4.1, abajo a la derecha). Además, en Estados Unidos, la tasa a la que aumentan las temperaturas difiere según las estaciones (Figura 2.4)¹⁸. Los cambios en las temperaturas estacionales han provocado cambios en la estacionalidad de determinados eventos (Figura A4.13). En algunas zonas, la combinación de alta humedad y altas temperaturas está contribuyendo a la aparición de valores del índice de calor demasiado severos para la tolerancia humana (KM 2.3)^{19,20}. A medida que aumentan las temperaturas, aumenta la exposición de las personas al calor extremo (KM 3.12, 15.1).

Este aumento de las temperaturas afecta directa e indirectamente la salud humana y las repercusiones sociales (KM 2.2; Capítulo 15). Las poblaciones directamente expuestas a más olas de calor experimentan un aumento de las enfermedades y muertes relacionadas con el calor^{21,22}. Desde la década de los años 60 del siglo XX, la frecuencia de las olas de calor y su duración han aumentado de forma constante en determinadas zonas (KM 2.2)²³. Las zonas urbanas experimentan temperaturas más altas que los entornos circundantes porque muchas estructuras, como carreteras y edificios, absorben e irradian calor, exacerbando los efectos del aumento de las temperaturas (Figura A4.4; KM 12.1). Además, los cambios en el uso de la tierra en las zonas urbanas y sus alrededores han contribuido a la aparición de picos de calor (Figura 6.3).

Intensidad de la isla de calor urbana (Urban Heat Island, UHI)



La intensidad de la isla de calor urbana está aumentando en muchas ciudades estadounidenses debido a la combinación de urbanización y aumento de las temperaturas.

Figura A4.4. La intensidad de la isla de calor urbana (Urban Heat Island, UHI) se define como la diferencia anual de temperatura promedio entre las zonas urbanas y las no urbanas (dentro de una zona de amortiguación de 5 km, o aproximadamente 3.1 millas, respecto al límite de la ciudad). Los indicadores y mapas de la intensidad de la UHI pueden ayudar a fundamentar las estrategias de mitigación del calor, como la implementación de una cubierta vegetal urbana²⁴. Fila superior: Se presentan mapas para el año 2020 para (a) Atlanta, (b) Houston y (c) Minneapolis, mostrando las diferencias de temperatura utilizadas para determinar la intensidad de la UHI para ese año. Se observan tanto epicentros de calor como zonas de temperaturas más bajas. Fila inferior: Se presentan las tendencias de la intensidad promedio de la UHI de 1985 a 2020 para (d) Atlanta, (e) Houston y (f) Minneapolis. Las líneas continuas muestran los datos observados, mientras que las líneas discontinuas representan la tendencia estimada para el período de registro. En la Figura 12.6 se pueden ver cifras complementarias que muestran la relación entre la temperatura y los factores socioeconómicos de estas mismas ciudades. Créditos de las figuras: (a, c, d, f) adaptado de Xian *et al.* 2022²⁴, (b, e) USGS y NIEHS/Kelly Government Solutions.

Precipitación

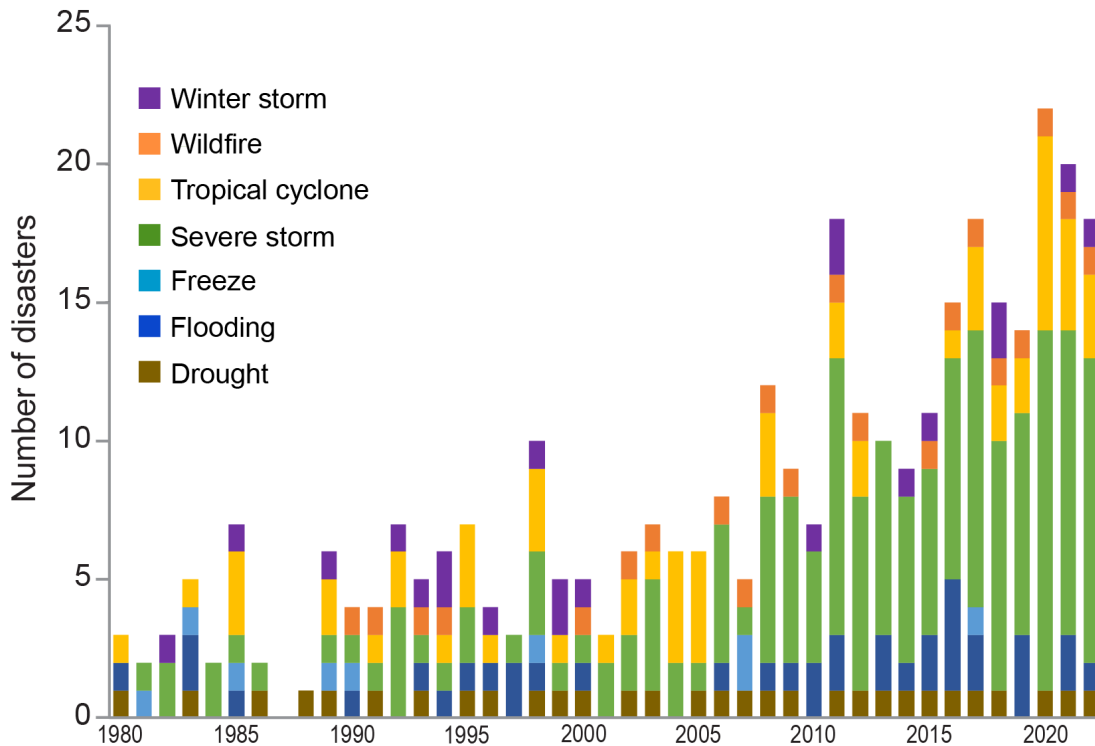
A medida que aumentan las temperaturas, los patrones de precipitación en los EE. UU. están cambiando, con tendencias a largo plazo en las precipitación promedio que difieren considerablemente según la región y la estación (Figura 2.4)¹⁴. Los indicadores pueden mostrar cómo los cambios en estos patrones pueden afectar a distintos sectores. Por ejemplo, unas precipitaciones demasiado abundantes o escasas pueden afectar tanto la producción agrícola (KM 4.1) como la hidroeléctrica (KM 5.1). Las actividades estacionales de las especies vegetales y animales sensibles pueden cambiar a medida que cambian las cantidades de precipitación y el momento en que se producen (Figura 8.11). Los indicadores también pueden utilizarse para observar cómo evolucionan los episodios de fuertes precipitaciones en intensidad (p. ej., Figura 2.8),

frecuencia (p. ej., Kunkel *et al.* 2022¹⁴) y duración (p. ej., Kunkel *et al.* 2020²⁵). Por ejemplo, hay evidencia de que en Estados Unidos en los últimos años están aumentando las precipitaciones extremas en un solo día²⁶. Las precipitaciones fuertes serán cada vez más importantes para la ingeniería local y la planificación comunitaria a medida que aumente el riesgo de inundaciones en un mundo más cálido²⁵; en consecuencia, los indicadores a escala regional y local son los más valiosos para informar sobre las medidas de adaptación destinadas a proteger la salud y la seguridad públicas.

Eventos extremos

El cambio climático está aumentando la frecuencia y la severidad de muchos eventos meteorológicos y climáticos extremos (Figura 1.7; KM 2.2), lo que incluye olas de calor²³, fuertes precipitaciones (Figura 2.8; KM 4.1, 21.1; KM 22.1), sequías (Sección A4.3), inundaciones (Sección A4.3; KM 4.1), incendios forestales (Sección A4.5; KM 7.1; Enfoque en los incendios forestales del Occidente) y ciclones tropicales (KM 2.2)²⁷. Otros eventos, como las olas de frío, son cada vez menos frecuentes (KM 2.2). Los indicadores de eventos extremos permiten a las comunidades evaluar los cambios en el riesgo, ya que los grandes desastres meteorológicos y climáticos pueden amenazar vidas, dañar propiedades y afectar las actividades cotidianas. Un ejemplo es el número de desastres que cada año causan en los EE. UU. daños por valor de al menos \$1,000 millones de dólares (Figuras A4.5, 1.7, 2.6, 22.3). Los eventos extremos más frecuentes y compuestos (Enfoque en los eventos compuestos) afectan de manera desproporcionada a los grupos ya sobrecargados (KM 18.2; Recuadro 18.2), lo que deja a las comunidades con menos tiempo y menos recursos para responder a cada desastre.

Desastres de mil millones de dólares



El número de desastres relacionadas con las condiciones meteorológicas y el clima que superan los \$1,000 millones ha aumentado considerablemente desde 1980.

Figura A4.5. Este indicador ofrece información sobre la frecuencia de los eventos que superan los \$1,000 millones en daños (ajustados a la inflación) desde 1980 hasta 2022 en siete tipos de desastres, cada uno representado por su propio color. La categoría de tormenta severa incluye eventos como tornados, granizo y vientos dañinos, pero no ciclones tropicales ni tormentas invernales. El único año sin eventos de mil millones de dólares fue 1987. Desde entonces, el número de eventos cada año ha aumentado en general, siendo 2020 y 2021 los dos años con mayor número de eventos registrados. El número y costo de estos desastres se deben a varios factores complejos. El cambio climático está provocando un aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos y, al mismo tiempo, se ha producido un aumento continuo del número de edificios, infraestructuras y personas en zonas sensibles al clima donde pueden producirse estos eventos²⁸. Los factores económicos también pueden influir. Por ejemplo, existe la posibilidad de que el valor de las propiedades aumente en tasas por encima del índice de precios al consumidor, lo que puede ocasionar evaluaciones de daños más altas que en años anteriores. Una versión interactiva de este indicador, que incluye el costo anual total y un desglose por estados y regiones, puede encontrarse en <https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/time-series/>²⁹. Adaptado del USGCRP 2023³⁰.

A4.3. Indicadores de hielo, nieve y agua

En muchas partes de los EE. UU. se están intensificando las sequías o se está reduciendo la capa de nieve, lo que es causado o agravado por el aumento de las temperaturas (KM 2.2, 4.1). Estos cambios, combinados con el aumento de la demanda de agua por el crecimiento de la población, pueden reducir la fiabilidad de los suministros de agua^{31,32} y los indicadores relacionados con el agua pueden ayudar a las comunidades a prepararse para los impactos. También son útiles los indicadores utilizados para rastrear los cambios en la criósfera (las partes congeladas de la superficie terrestre), ya que el deshielo del hielo marino y terrestre (p. ej., capas de hielo y glaciares) y el deshielo del permafrost pueden contribuir al aumento del nivel del mar (KM 9.1; Figuras 2.5, 9.1), afectar el suministro de agua (KM 4.1) y tener otros impactos negativos sobre los seres humanos y los ecosistemas (KM 8.2; Capítulo 29).

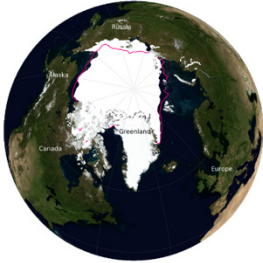
Hielo marino

Los cambios en el hielo marino del Ártico son algunos de los indicadores más visibles y conocidos de un clima cambiante^{33,34,35}. En la Figura 2.3 se muestra el pronunciado descenso de la extensión promedio del hielo marino del Ártico en septiembre, cuando el hielo se reduce a su superficie más pequeña cada año. La Figura A4.6 ilustra cómo la superficie total de hielo marino de septiembre ha disminuido y cómo la duración total de la temporada de deshielo aumenta con el tiempo. La ubicación y el momento del deshielo son importantes, ya que al derretirse el hielo marino cambian los patrones de circulación marina y atmosférica, lo que puede impactar la vida marina y las economías costeras (KM 10.1). Además, la pérdida de hielo marino está provocando un aumento de la navegación comercial, la prospección de petróleo, gas y minerales y problemas geopolíticos y de seguridad mundial (Capítulo 17; KM 29.6)³⁶.

Cambios en el hielo marino del Ártico

a) September Arctic sea ice extent

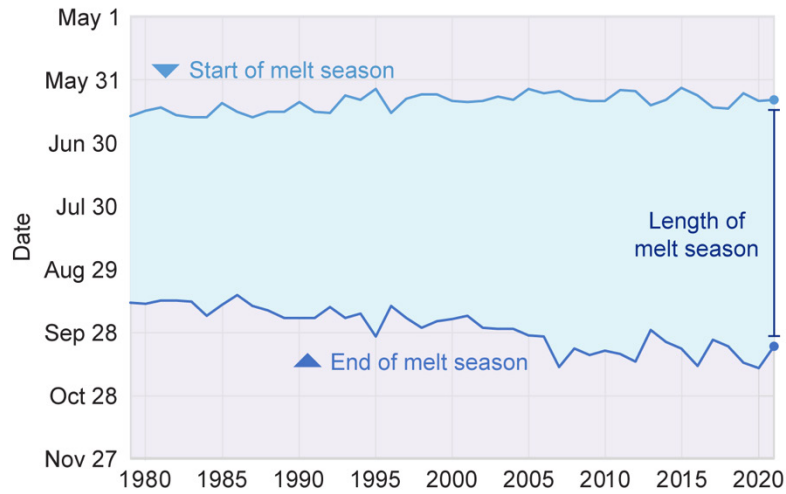
1979: 2.7 million square miles



2022: 1.9 million square miles



b) Arctic sea ice melt season



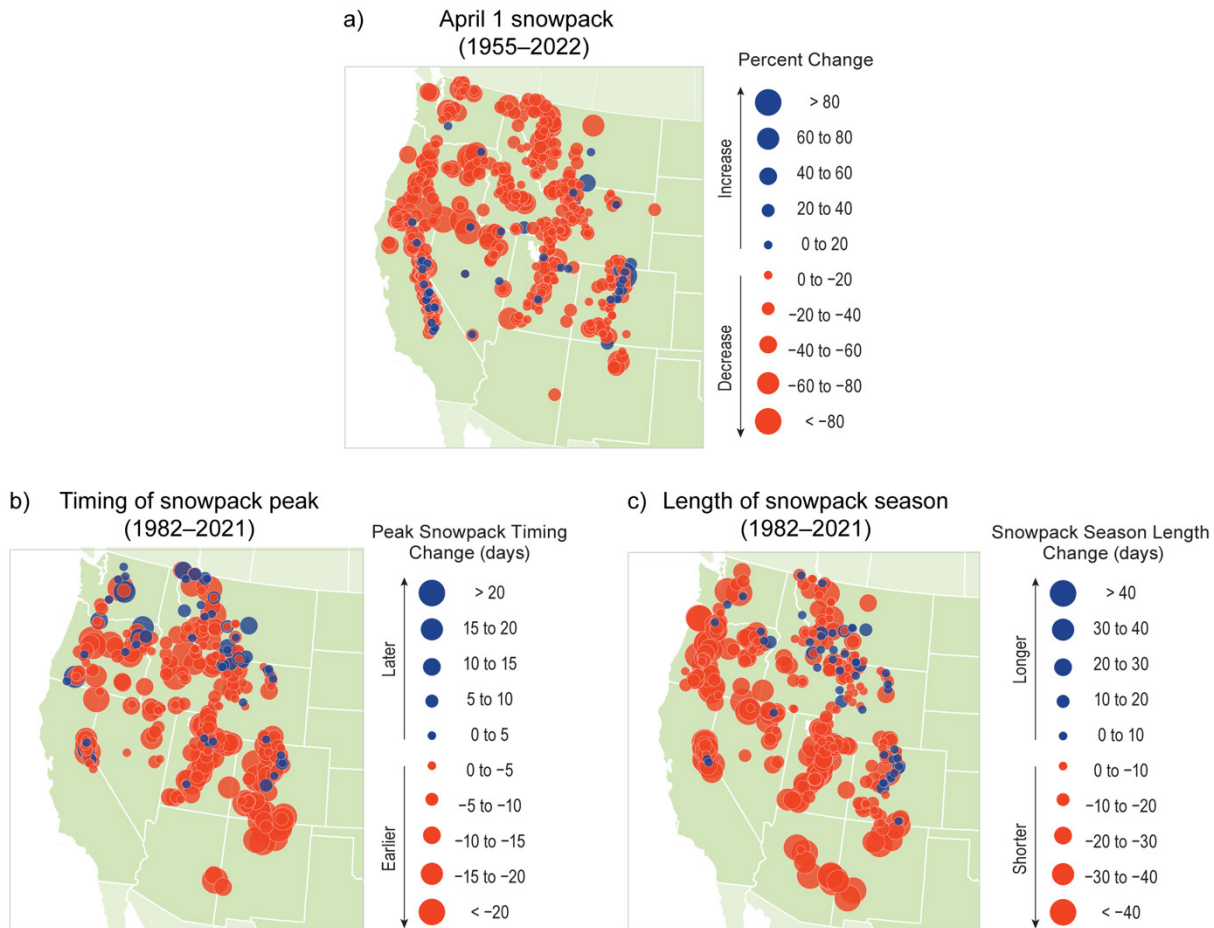
El hielo marino del Ártico disminuye a medida que se alarga la temporada de deshielo.

Figura A4.6. Un final cada vez más tardío de la temporada de deshielo es el principal factor que contribuye tanto a la prolongación de la temporada como a la disminución de la extensión de hielo. **(a)** Este indicador compara la extensión mínima anual del hielo marino (la superficie más pequeña de hielo marino) medida en el Ártico en 1979 (el inicio del registro) y 2022 (el año de observación más reciente). La línea rosa de cada mapa representa la mediana del borde de hielo entre 1981 y 2010. **(b)** Este indicador muestra la duración anual de la temporada de deshielo del hielo marino del Ártico desde 1979 hasta 2021. El área sombreada en azul representa el tiempo transcurrido entre la fecha en que el hielo comienza a fundirse de forma consistente (línea celeste) y la fecha en que comienza a volver a congelarse (línea azul). (a) Adaptado del NSIDC 2023³⁷; imágenes del instrumento Special Sensor Microwave Imager/Sounder (SSMIS), cortesía de la NASA y el NSIDC; (b) adaptado de la EPA 2023³³.

Cubierta y capa de nieve

A medida que los inviernos y las primaveras en los EE. UU. se calientan, la cantidad y estacionalidad de la nieve está cambiando (KM 2.2). El aumento de las temperaturas hace que la nieve se derrita antes, lo que afecta la secuencia cronológica y la disponibilidad de agua (KM 2.2)³⁸. Se pueden utilizar diversos indicadores para hacer un seguimiento de los cambios en la capa y la cubierta de nieve (Figura A4.7). Estos indicadores se centran en el oeste de los EE. UU., donde millones de personas dependen del deshielo de las montañas para obtener agua potable, regar sus cultivos y generar energía hidroeléctrica (Capítulo 4; KM 28.1). Los cambios en la capa y la cubierta de nieve afectan las actividades recreativas de invierno, el turismo, las plantas y la fauna³⁸.

Cambios en la capa de nieve del oeste



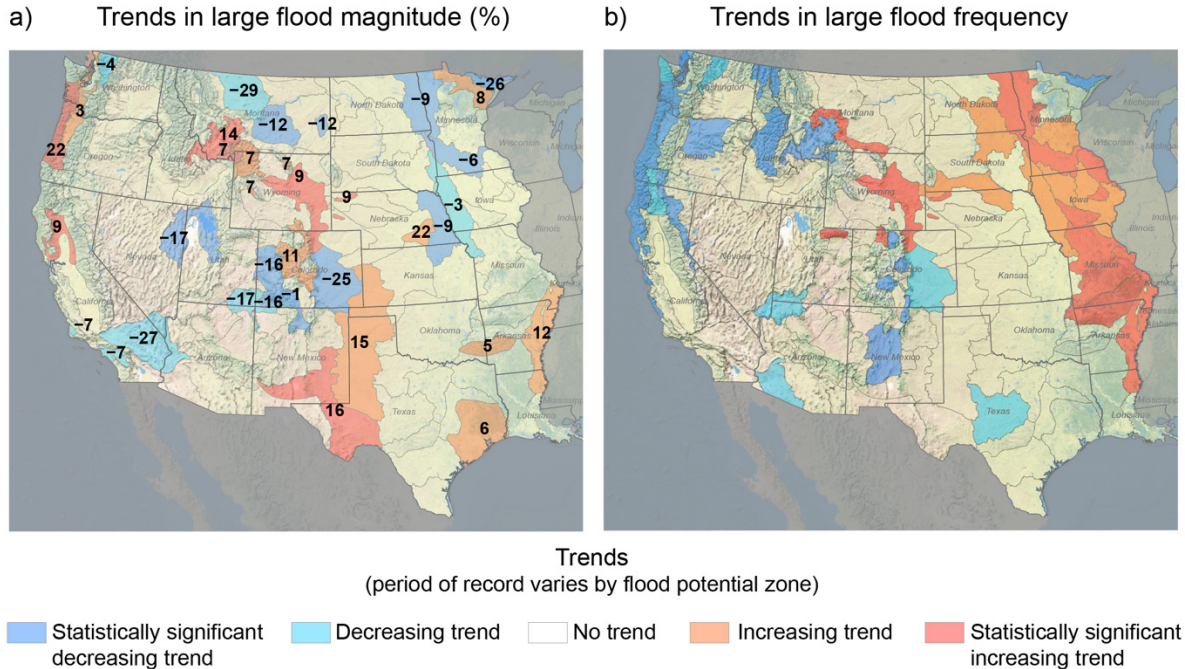
La capa de nieve del oeste está disminuyendo, los picos de nieve se alcanzan antes y la temporada de nieve se acorta.

Figura A4.7. La cantidad total de nieve ha ido disminuyendo en todo el oeste de Estados Unidos, como muestran tres indicadores: **(a)** tendencias de la capa de nieve a 1.º de abril (variación porcentual) de 1955 a 2022 (los círculos rojos y azules representan una disminución y un aumento, respectivamente); **(b)** cambio en la fecha anual en que la capa de nieve alcanza su cantidad máxima (días) de 1982 a 2021 (los círculos rojos y azules representan un cambio hacia un momento más temprano y más tardío, respectivamente); y **(c)** cambio en la duración de la temporada de la capa de nieve (días) de 1982 a 2021 (los círculos rojo y azul representan un acortamiento y un alargamiento de la temporada de la capa de nieve, respectivamente). Adaptado de la EPA 2023³⁸.

Inundaciones

Los indicadores pueden utilizarse para cuantificar las tendencias de las grandes inundaciones, lo que es imperativo para la gestión de los terrenos inundables y el diseño de infraestructuras a fin de maximizar la seguridad y la resiliencia (KM 4.2, 6.1, 12.4). Por ejemplo, al oeste del río Mississippi, casi el 30 % de las zonas monitoreadas están experimentando aumentos en la frecuencia o magnitud de las grandes inundaciones (Figura A4.8). Por el contrario, otras zonas han experimentado recientemente tendencias decrecientes debido a los patrones climáticos prevalentes, como la megasequía del Suroeste (KM 28.1)³⁹. Los indicadores de inundaciones también se utilizan para hacer un seguimiento de los daños económicos relacionados con las inundaciones (Figura 4.12) y monitorear las tendencias de inundación de arroyos y ríos individuales⁴⁰.

Frecuencia y magnitud de las inundaciones al oeste del río Mississippi



Las tendencias en la magnitud y la frecuencia de las inundaciones varían mucho en el oeste de los EE. UU.

Figura A4.8. La magnitud de las inundaciones está aumentando a lo largo de la costa de Oregón, en amplias zonas de las Montañas Rocosas centrales y la parte sur de las Grandes Llanuras, y en partes de la Costa del Golfo, mientras que la frecuencia de las inundaciones está aumentando en una amplia zona al este del frente de las Montañas Rocosas⁴¹. Este indicador muestra las tendencias en (a) magnitud y (b) frecuencia de grandes inundaciones en el oeste de los EE. UU. dentro de 117 zonas con potencial de inundación. El sombreado en colores cálidos (rojos) representa tendencias al alza, y el sombreado en colores fríos (azules) representa tendencias a la baja. Los tonos más oscuros indican dónde las tendencias son estadísticamente significativas. (a) El cambio porcentual en la magnitud de las inundaciones anuales se indica con números negros. Las tendencias de las magnitudes varían con base en la duración de los registros disponibles (en la mayoría de los casos, desde principios del siglo XX hasta 2020), mientras que (b) la tendencia de las frecuencias corresponde al período comprendido entre 1945 y 2020, aproximadamente. Aún no se dispone de datos sobre las regiones del Caribe estadounidense, Alaska, Hawái y las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU., ni sobre la zona contigua de los EE. UU. al este del río Mississippi. Para obtener más información sobre las tendencias de las grandes inundaciones, consulte el Portal del potencial de inundación en <https://floodpotential.erams.com/>. Créditos de la figura: USDA Forest Service.

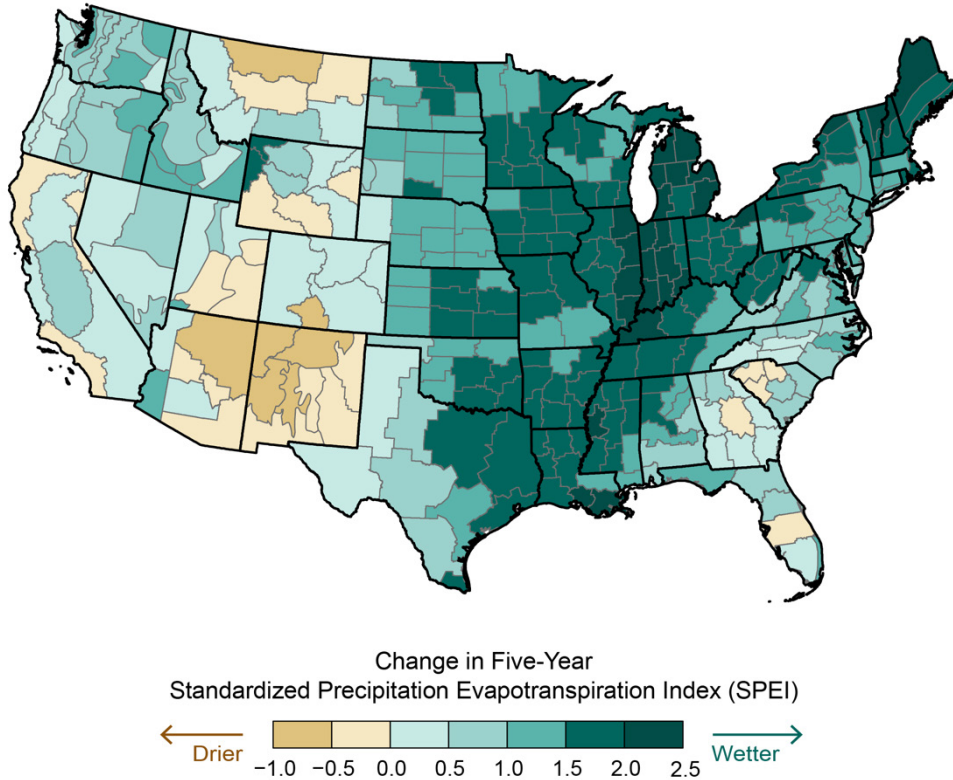
Sequía

Los efectos de la sequía pueden ser de gran alcance y duraderos, planteando riesgos para las personas y los ecosistemas y, a menudo, contribuyendo a otros eventos extremos, como los incendios forestales inducidos por la sequía (KM 4.2; Enfoque en los incendios forestales del Occidente). Existen varias medidas hidrológicas para la sequía y, para determinadas aplicaciones, los reanálisis climáticos también pueden ser valiosos para evaluar las tendencias históricas relacionadas con el clima, incluidas las métricas de sequía (p. ej., Jasinski *et al.* 2019⁴²). Algunos indicadores de sequía tienen en cuenta la disponibilidad de agua, medida mediante variables como la precipitación (Figura 4.10), el caudal de las corrientes de aguas superficiales, los niveles de las aguas subterráneas y los embalses o la humedad del suelo (Figura 28.2). Otros indicadores de sequía tienen en cuenta distintos factores climáticos, como la temperatura, la evapotranspiración potencial y la radiación solar (Figura 3.12). Por ejemplo, el Índice Estandarizado de Evapotranspiración por Precipitación (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI; Figura A4.9) mide la combinación de precipita-

ción y evapotranspiración para determinar si una zona determinada está experimentando sequía extrema, humedad extrema o condiciones intermedias⁴³. El SPEI es un indicador valioso al considerar cómo pueden afectar las sequías a las actividades que dependen de un equilibrio entre el suministro y la demanda de agua, en particular las relacionadas con la agricultura y los ecosistemas⁴⁴.

Cambio en las condiciones de sequía

1900–2022



Los registros a largo plazo muestran que las condiciones son cada vez más secas en muchas zonas del oeste y más húmedas en otras, sobre todo en el este.

Figura A4.9. Desde principios del siglo XX, el este de los EE. UU. ha experimentado en general condiciones más húmedas, mientras que partes del oeste (especialmente el Suroeste) han experimentado condiciones más secas. Este mapa muestra el cambio total en las condiciones de sequía en los EE. UU. contiguos, con base en la tasa promedio de cambio a largo plazo en el Índice Estandarizado de Evapotranspiración por Precipitación (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI) quinquenal desde 1900 hasta 2022. Los datos se muestran para pequeñas regiones denominadas divisiones climáticas, según la definición de la NOAA⁴⁵. Las zonas sombreadas en verde azulado representan condiciones más húmedas, y las zonas marrones, condiciones más secas. No se dispone de datos para las regiones del Caribe estadounidense, Alaska o Hawái y las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU. Adaptado de la EPA 2023⁴⁴.

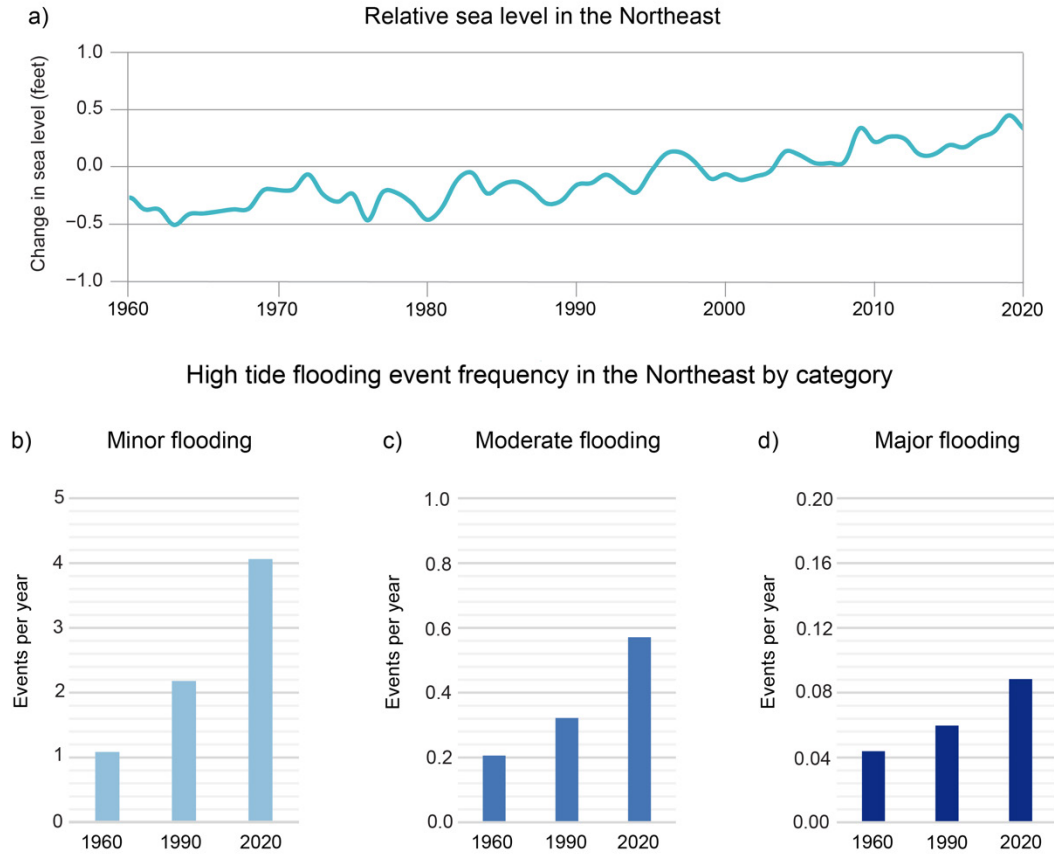
A4.4. Indicadores marinos y costeros

Los cambios provocados por el clima en los océanos y costas estadounidenses ponen en peligro los ecosistemas marinos y las comunidades costeras (Figuras 10.1, 21.5) y amenazan las infraestructuras y la producción de energía (KM 9.2, 10.1). Los indicadores pueden utilizarse para hacer un seguimiento de las condiciones marinas físicas (p. ej., la temperatura de la superficie del mar o la acidificación marina), los impactos ecológicos (p. ej., los cambios de especies marinas) y los impactos costeros (p. ej., las inundaciones por mareas altas). Esta información se utiliza para evaluar los riesgos, fomentar la resiliencia y aumentar el valor de los recursos costeros y marinos a medida que cambian las condiciones marinas.

Aumento del nivel del mar e inundaciones costeras

El nivel del mar mundial está subiendo a medida que se calientan las aguas oceánicas y se derriten los glaciares y las capas de hielo. En algunas zonas costeras de los EE. UU., el nivel del mar está subiendo más rápidamente que el promedio mundial, y las tasas más altas se registran a lo largo de partes de la Costa del Atlántico y del Golfo de México (Figuras A4.10a, 2.5; KM 21.2, 22.1, 26.1)⁴⁶. El aumento relativo del nivel del mar está provocando un incremento de los impactos físicos y sociales, como las inundaciones por mareas altas (Figura A4.10b-d; KM 9.1).

Nivel del mar e inundaciones costeras en el Noreste



La combinación del aumento del nivel del mar y el aumento de la frecuencia de las inundaciones costeras agrava el riesgo para las comunidades costeras.

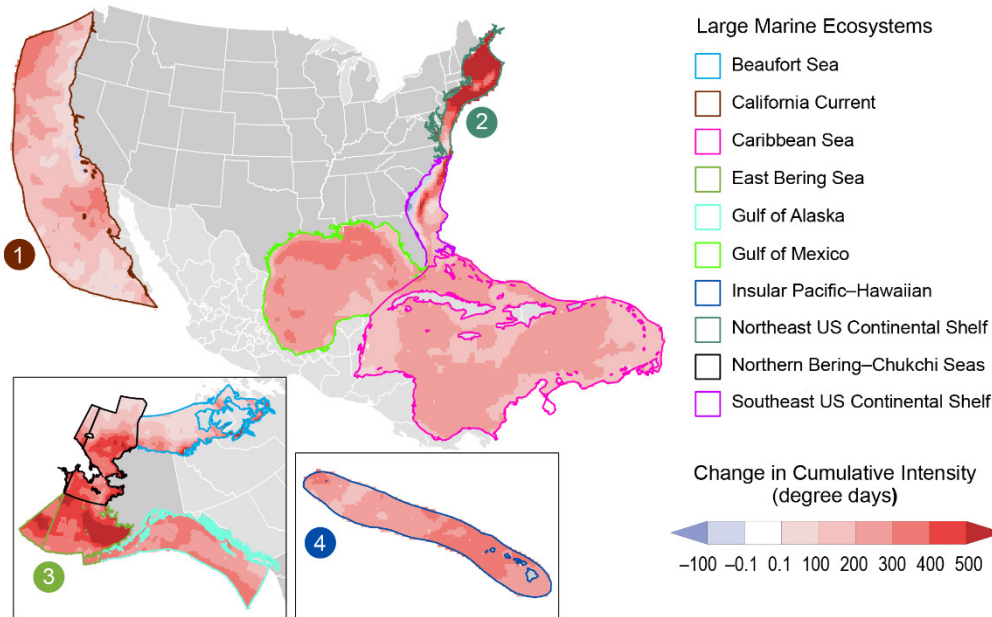
Figura A4.10. (a) El gráfico de líneas muestra los cambios observados en el nivel relativo del mar de 1960 a 2020 (en comparación con el promedio de 1991-2009), que es una combinación de los cambios en el nivel del mar y el levantamiento o hundimiento local de la tierra, promediados a lo largo de la costa del Atlántico del Noreste de los EE. UU. Los gráficos de barras representan la frecuencia de inundaciones de marea alta (b) leves (perturbadoras), (c) moderadas (perjudiciales) y (d) severas (destructoras) en intervalos de 30 años (1960, 1990 y 2020), también para el Noreste de los EE. UU. (consulte las definiciones de los umbrales de inundación de marea alta en la Figura 9.3). La frecuencia se expresa como el número de eventos por año, donde un valor de 0.1 equivale a una probabilidad anual del 10 % de experimentar ese tipo de evento de inundación. Consulte el Capítulo 9 para los datos de los EE. UU. contiguos, incluidas las proyecciones futuras. Créditos de la figura: (a) adaptado de Sweet *et al.* 2022⁴⁷, (b, c, d) NOAA NCEI y NOAA.

Olas de calor marinas

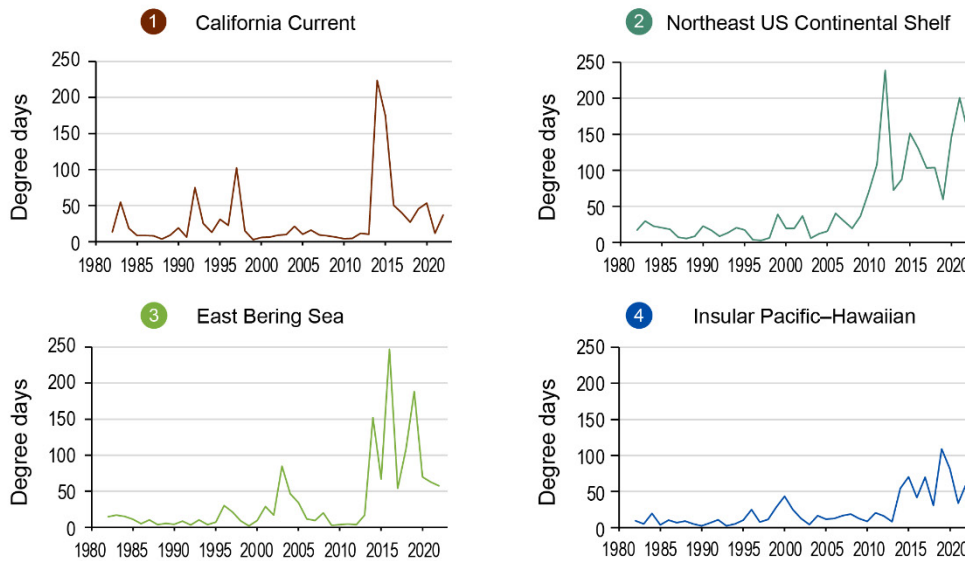
Las temperaturas superficiales de los océanos que rodean los EE. UU. han aumentado progresivamente a lo largo del tiempo, al igual que en la mayoría de los océanos del mundo (Figura 2.3)⁴⁸. El aumento de las temperaturas en estas zonas contribuye a incrementar la frecuencia (KM 10.1, 21.2), intensidad (Figura A4.11), tamaño y duración de las olas de calor marinas⁴⁹. Estos cambios tienen impactos perjudiciales sobre los ecosistemas y las economías circundantes, incluidos cambios en la distribución de la vida marina (Figura A4.12; KM 8.2, 10.1).

Olas de calor marinas

a) Annual cumulative intensity of marine heatwaves (1982–2022)



b) Marine heatwave strength (1982–2022)



Las temperaturas marinas extremas son más frecuentes a medida que aumenta la temperatura del mar.

Figura A4.11. (a) Los mapas muestran el cambio en la intensidad acumulada anual de las olas de calor marinas (temperaturas anómalamente cálidas que duran cinco o más días) en los grandes ecosistemas marinos que rodean Estados Unidos desde 1982 hasta 2022. La intensidad acumulada, o grados-día, viene determinada por la intensidad de la ola de calor multiplicada por la duración, comparada con el promedio de 1982-2011. Las zonas con aumentos en la intensidad acumulada se muestran en rojo y los colores más oscuros indican un mayor cambio. Las zonas en azul representan una disminución de la intensidad acumulada a lo largo del tiempo. **(b)** Los gráficos muestran la intensidad de la ola de calor en grados-día totales cada año desde 1982 hasta 2022 para varios grandes ecosistemas marinos seleccionados que aparecen resaltados en los mapas anteriores. Créditos de la figura: NOAA NCEI, University of Miami, DOE y Eastern Research Group Inc.

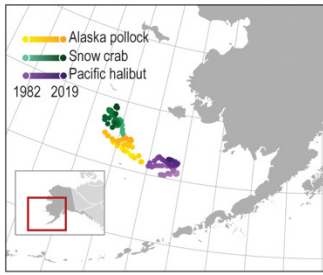
Especies marinas

El calentamiento de los océanos ha contribuido a cambios en la distribución geográfica de las especies marinas (KM 10.1), que se estudian ampliamente y se siguen mediante indicadores⁵⁰. Es importante hacer un seguimiento de los cambios provocados por el clima en la distribución, la secuencia cronológica y la productividad de las especies relacionadas con la pesca, que pueden poner los negocios pesqueros marinos y las comunidades pesqueras⁵¹ en peligro. Muchas especies marinas son sensibles a señales ambientales como los rangos de temperatura y siguen bien las velocidades climáticas locales (la velocidad y dirección a la que se mueven las especies para experimentar condiciones climáticas similares)⁵²; sin embargo, hay otros factores que pueden influir en la abundancia y distribución geográfica de las especies, como las prácticas pesqueras a gran escala, las corrientes marinas, los cambios en los hábitats y la capacidad de adaptación de las especies. La Figura A4.12 muestra cómo múltiples especies adyacentes a las costas de Alaska, Noreste y Sureste de los EE. UU. se han ido desplazando hacia el norte y, en algunas regiones más profundas, hacia aguas más frías.

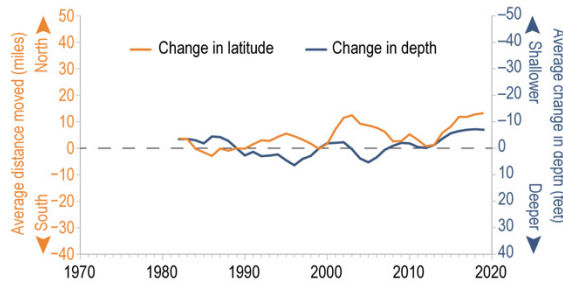
Distribución de las especies marinas

Eastern Bering Sea (1982–2019)

a) Center of biomass

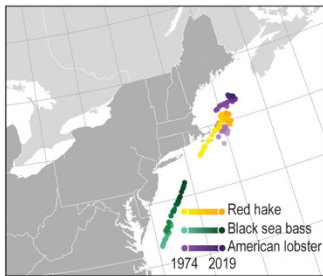


d) Annual change in latitude and depth

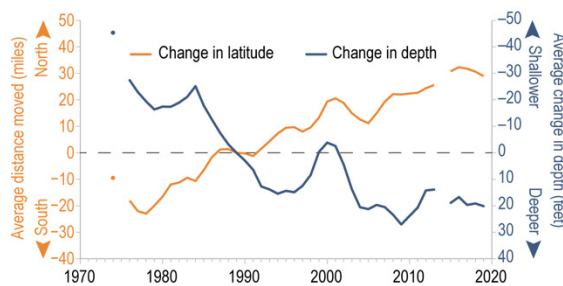


Northeastern US Coast (1974–2019)

b) Center of biomass

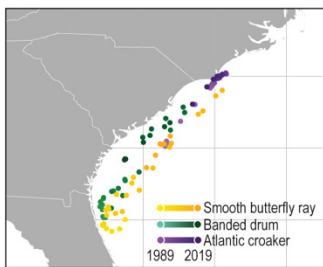


e) Annual change in latitude and depth

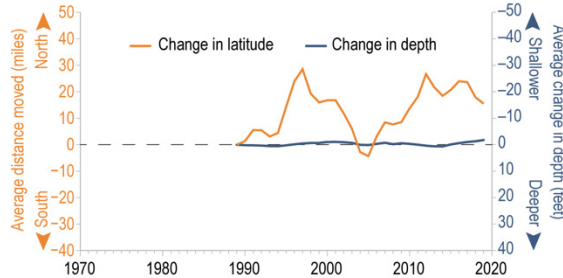


Southeastern US Coast (1989–2019)

c) Center of biomass



f) Annual change in latitude and depth



Las especies marinas de las costas de los EE. UU. se están desplazando predominantemente hacia el norte, a aguas más frías.

Figura A4.12. (izquierda) Los mapas muestran los centros anuales de biomasa para tres especies en tres regiones: (a) el Mar de Bering oriental (1982-2019) y las costas del (b) Noreste (1974-2019) y (c) Sureste de los EE. UU. (1989-2019). Se eligieron estas especies porque representan una variedad de hábitats y tipos de especies y son relativamente abundantes. Los puntos están sombreados para mostrar cómo ha cambiado la ubicación de las especies a lo largo del tiempo, con un sombreado claro que representa los años anteriores y un sombreado más oscuro que representa los años más recientes. **(derecha)** Los gráficos muestran el cambio anual de latitud (líneas naranjas; movimiento en millas) y profundidad (líneas azules; cambio en pies) de varias especies marinas en (d) el Mar de Bering Oriental (arriba; 64 especies), y las costas del (e) Noreste (centro; 53 especies) y (f) Sureste de los EE. UU. (abajo; 63 especies), en relación con 1989. Las líneas negras discontinuas representan áreas sin cambio. No se disponía de datos de 1975 ni de 2014 para la región Noreste. Adaptado de la EPA 2023⁵⁰.

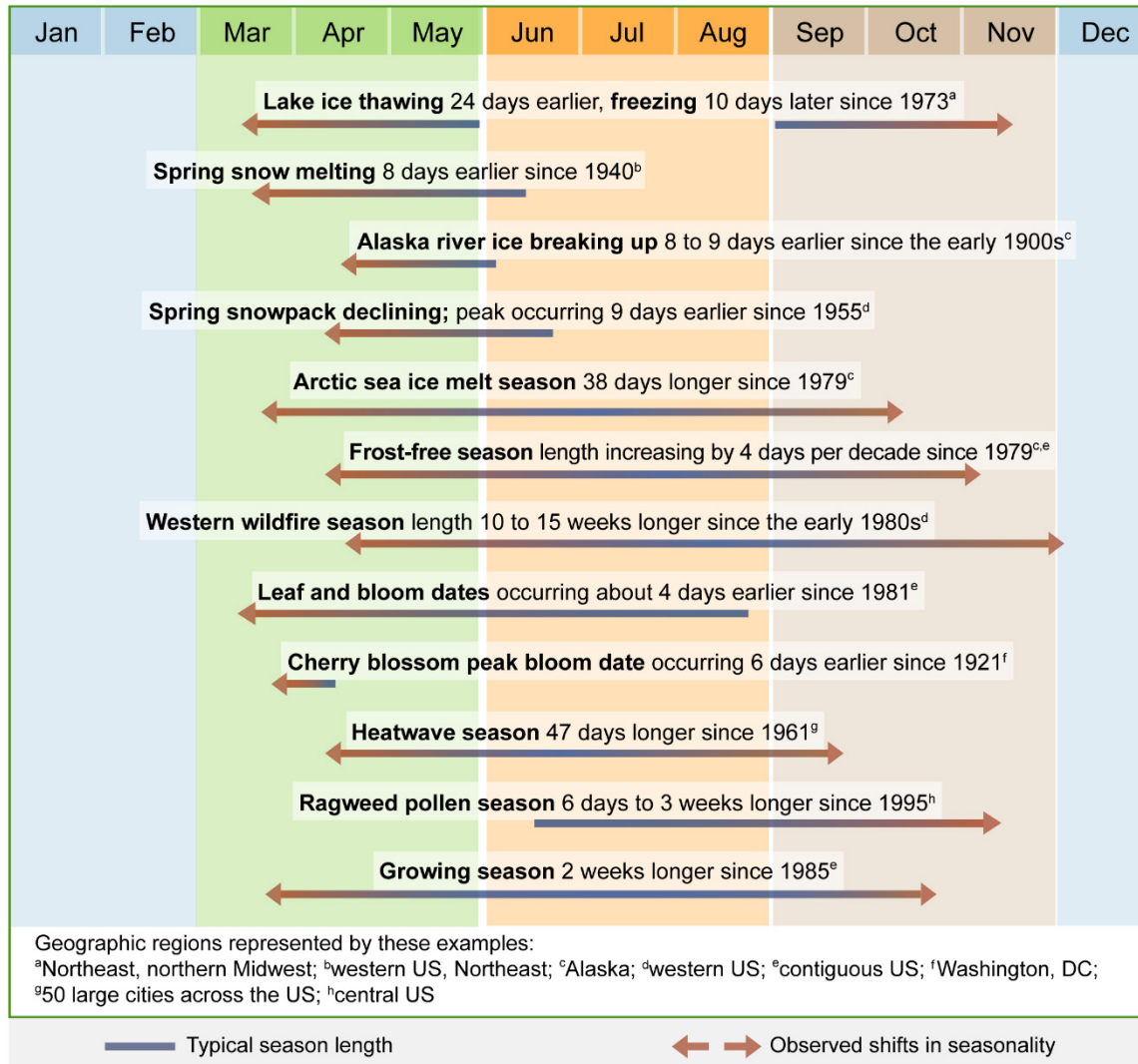
A4.5. Indicadores de tierra y ecosistemas

Los sistemas terrestre, alimentario y climático de la Tierra están inextricablemente entrelazados (Figura 11.9). El clima y las condiciones meteorológicas determinan la demanda y distribución de alimentos, pescado y productos forestales. A su vez, la producción de materias primas influye en el clima a través del intercambio de gases de efecto invernadero y la conservación o degradación de la tierra. Estas retroalimentaciones están conduciendo al sistema acoplado clima-tierra hacia una serie de resultados para las personas y la sociedad, algunos de ellos indeseables⁵³. Los indicadores pueden ayudar a los gerentes de la tierra y a los legisladores a identificar los planes y las soluciones óptimas en el contexto de unas condiciones cambiantes.

Cambio estacional

La estacionalidad se refiere a acontecimientos o procesos estacionales recurrentes, como el florecimiento de las flores silvestres en primavera⁵⁴. La secuencia cronológica, la duración y la variabilidad de muchos eventos estacionales están cambiando en respuesta a los cambios de los patrones de temperatura y humedad (Capítulos 2, 8; Figura 24.3). Los indicadores de cambio estacional (Figura A4.13) son valiosos para comprender las relaciones entre el clima y los ecosistemas y los consiguientes riesgos para los sistemas medioambientales y sociales⁵⁵. El conocimiento de estos cambios lo generan a menudo las poblaciones locales e indígenas, que tienen profundas conexiones con los ecosistemas locales debido a sus prácticas culturales y de subsistencia (Capítulo 16).

Cambios en la estacionalidad



Las evidencias observadas de cambios en la estacionalidad reflejan un calentamiento del clima.

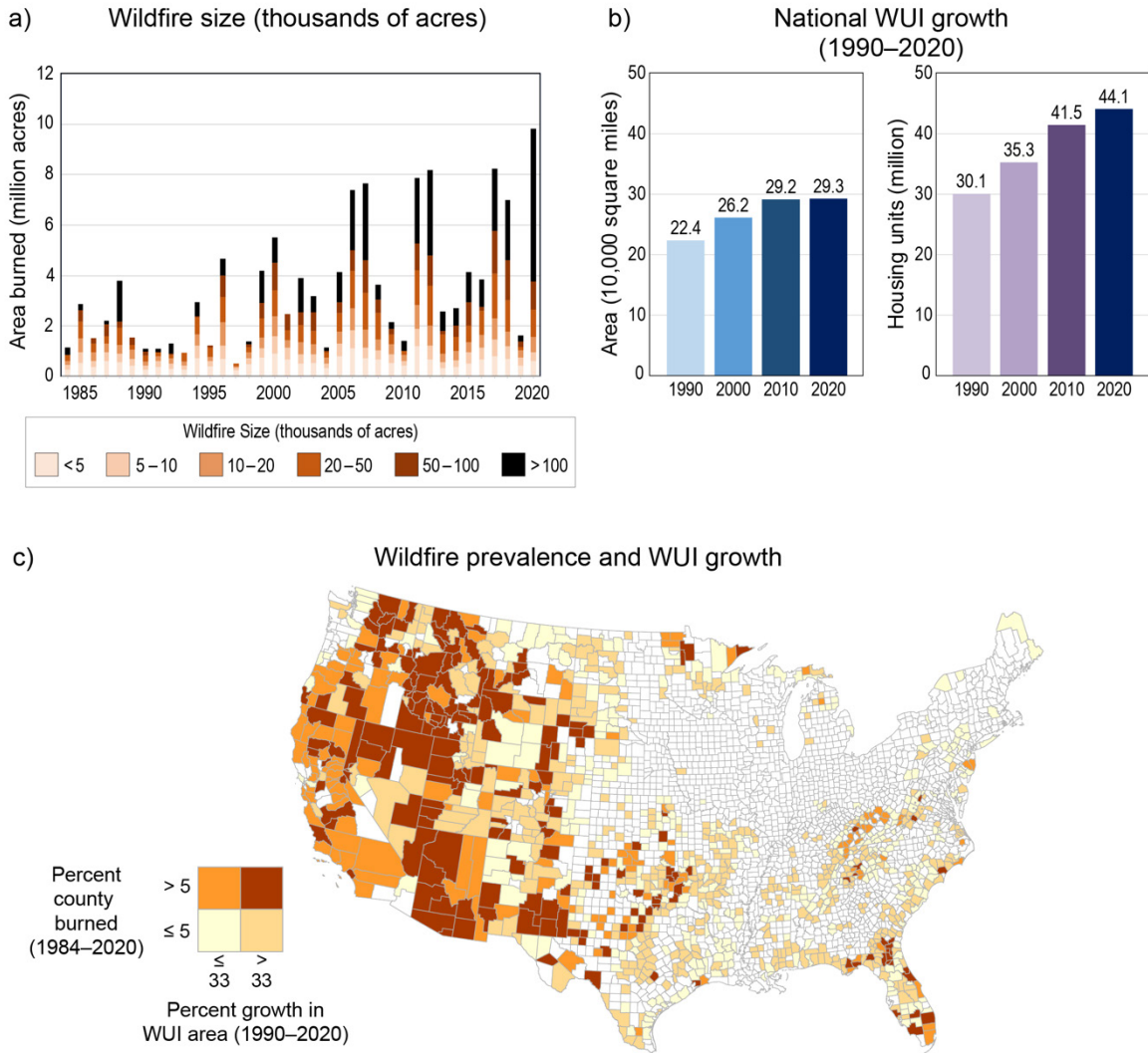
Figura A4.13. Muchos indicadores muestran cambios en la secuencia cronológica y la duración de los eventos o procesos estacionales que están correlacionados con las estaciones. La longitud de las líneas azules representa la época aproximada del año en que suelen producirse estos eventos y la dirección de las flechas denota los cambios más tempranos (←) y más tardíos (→) de la estación. Los segmentos rojos de la línea representan el cambio observado con fines ilustrativos, mientras que los valores reales observados se encuentran como texto encima de cada línea. Algunos de estos indicadores se limitan a regiones geográficas específicas. Adaptado de la EPA 2021⁵⁴.

Incendios forestales e interfaz urbano-forestal

Los incendios forestales afectan la dinámica del carbono, los ecosistemas, la biodiversidad y la salud humana (Capítulo 7; KM 6.1, 14.2; Figuras F2.1, 28.9). La interfaz urbano-forestal (Wildland–Urban Interface, WUI) es la zona en la que los edificios y otras urbanizaciones se encuentran o mezclan con zonas naturales no urbanizadas, incluida la vegetación propensa a los incendios. En las últimas décadas, la WUI ha crecido rápidamente⁵⁶, expandiéndose tanto en área total como en número de viviendas. Además, el promedio de acres que se queman por incendios forestales anualmente ha aumentado desde mediados de la década de 1980⁵⁷. En conjunto, estos cambios han aumentado el riesgo de pérdida de vidas humanas y daños materiales

en muchas zonas de Estados Unidos (Figura A4.14). Otros indicadores importantes relacionados con los incendios forestales son las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de los incendios forestales y de las quemas controladas (Figura 7.2) y los indicadores socioeconómicos relacionados, como el gasto federal en extinción de incendios forestales⁵⁸.

Incendios forestales y crecimiento de la interfaz urbano-forestal (Wildland–Urban Interface, WUI)



El área quemada por los incendios forestales aumenta y la interfaz urbano-forestal se amplía en los EE. UU. contiguos.

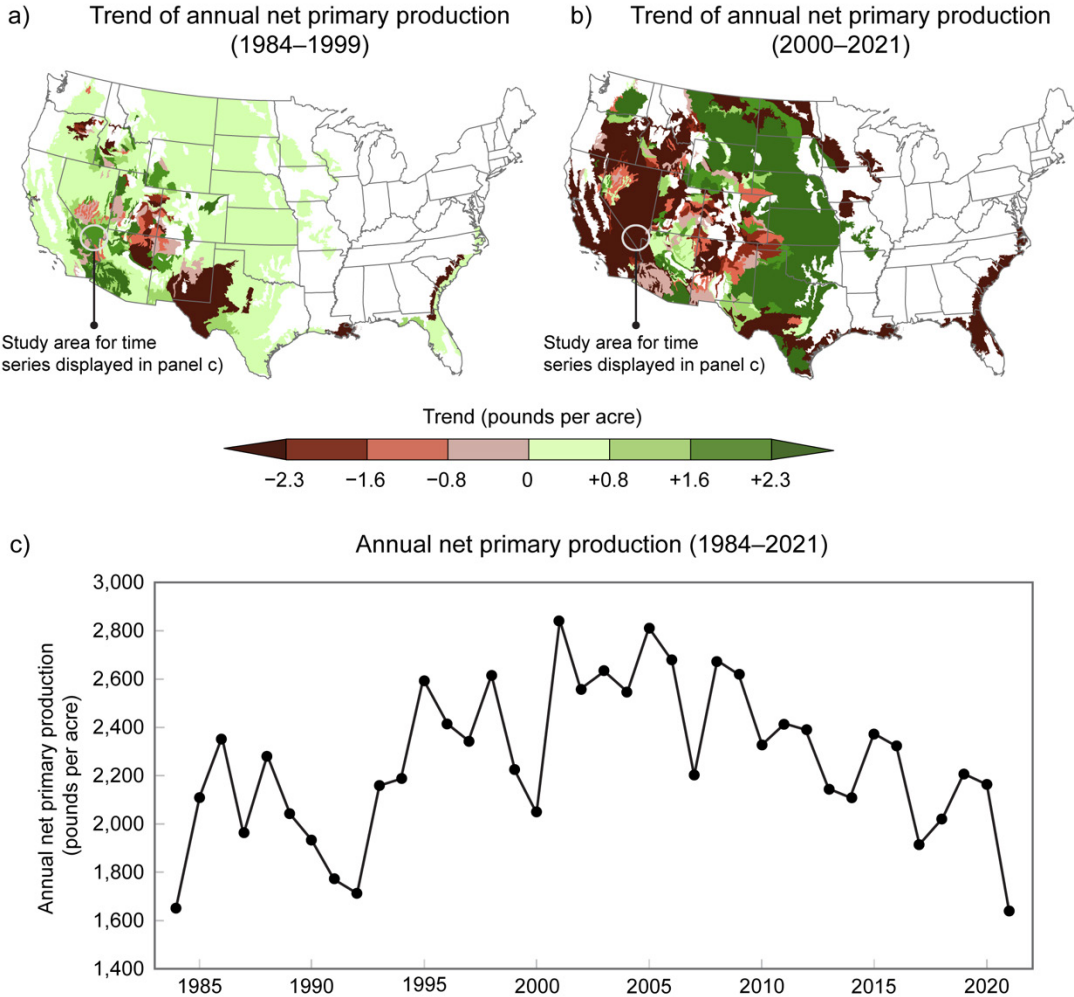
Figura A4.14. (a) El gráfico muestra el número de acres quemados entre 1984 y 2020 para los EE. UU. contiguos. Los diferentes tonos dentro de cada barra indican la contribución proporcional de las diferentes clases de tamaño de incendio al total de ese año. (b) Los dos gráficos muestran el crecimiento de la interfaz urbano-forestal (Wildland–Urban Interface, WUI) en términos de área y número de viviendas de 1990 a 2020 para los EE. UU. contiguos. (c) El mapa representa los condados de los EE. UU. donde el crecimiento de la WUI y los incendios forestales son más frecuentes. Los condados se clasifican por su nivel de crecimiento de la WUI entre 1990 y 2020 y el área quemada entre 1984 y 2020. No se clasifican los condados en los que los incendios forestales no cumplen los requisitos de tamaño mínimo para el mapeo del Monitoreo de las Tendencias de la Severidad de las Quemadas (Monitoring Trends in Burn Severity, MTBS)⁵⁷ o cuando el porcentaje de crecimiento en la zona de WUI es inferior a cero. Los datos de la WUI no están disponibles para las regiones del Caribe estadounidense, Alaska o Hawái y las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU. En Alaska, los incendios forestales quemaron más de 34 millones

de acres entre 1984 y 2020; durante este período, ocho de las nueve temporadas de incendios forestales en las que ardieron más de un millón de acres se produjeron desde el año 2000. Veintiún incendios forestales en Hawái (más de 103,000 acres totales) y cuatro incendios forestales en Puerto Rico (alrededor de 6,300 acres totales) fueron mapeados entre 1984 y 2020. No se dispone de datos de incendios forestales del MTBS para otras partes de las regiones del Caribe estadounidense y de las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU. (en la Figura 30.13 se presentan datos de incendios forestales de otra fuente para la región de las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU.). Créditos de la figura: (a, c) USDA Forest Service; (b) adaptado de Radeloff *et al.* 2018⁵⁶.

Agricultura y sistemas alimentarios

El sistema clima-agricultura-alimentación es complejo (Figura 11.9). La producción agrícola y los recursos naturales se enfrentan a desafíos derivados de la creciente variabilidad y el cambio climáticos. La optimización de la gestión y de las decisiones políticas requiere un sistema integrado de indicadores que comunique los impactos climáticos en la producción, las tendencias en los sistemas socioecológicos que sustentan la agricultura (p. ej., la mortalidad de los trabajadores relacionada con el calor; Figura 11.1), los pagos de los seguros de cosechas (KM 11.2)⁵, los resultados de la gestión en relación con las condiciones socioecológicas deseadas⁵⁹, el grado de adaptación (KM 11.1) y las relaciones entre cambio climático, consumo y producción⁶⁰. Actualmente, los indicadores relacionados con la agricultura más desarrollados están orientados a la producción (Capítulo 11), como el rendimiento de los pastos o los cultivos, los patógenos de los cultivos, el estrés térmico de los animales, la migración de las zonas de rusticidad de las plantas (Figura 11.3), la secuencia cronológica de la brotación de los árboles frutales y la relación entre los productos y los insumos (productividad total de los factores)⁵. La productividad de la vegetación de los pastizales ofrece numerosos y valiosos servicios medioambientales⁶¹, pero ha disminuido severamente en algunas zonas de los EE. UU. en las décadas recientes (Figura A4.15)⁶², con una fuerte correlación con la exposición al cambio climático a escala regional⁶³.

Producción de pastizales



La producción de vegetación de los pastizales ha disminuido severamente en algunas zonas y ha aumentado en otras.

Figura A4.15. La producción primaria neta anual (Annual Net Primary Production, ANPP) de los pastizales mide la producción anual de la vegetación de los pastizales, que ofrece servicios medioambientales clave para la calidad del suelo, el aire y el agua, así como miles de millones de dólares en comercio. Esta figura ilustra la ANPP en libras por acre en pastizales por subsección ecológica (consulte Cleland *et al.* 2007⁶⁴) durante los períodos (a) 1984-1999 y (b) 2000-2021. Los valores positivos indican zonas en las que la ANPP ha aumentado con el tiempo, y los negativos, zonas en las que ha disminuido. Las zonas en blanco no están clasificadas como ecosistemas de pastizales. (c) La serie temporal muestra los valores anuales de la ANPP desde 1984 hasta 2021 para una ubicación seleccionada en el Desierto de Mojave (indicada por el círculo en los mapas). La ANPP aumentó en esta zona durante la primera mitad del período, pero desde entonces ha experimentado un descenso constante. No se dispone de datos para las regiones del Caribe estadounidense, Alaska o Hawái y las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU. Adaptado con permiso de Reeves *et al.* 2021⁶² [CC BY-NC-ND 4.0].

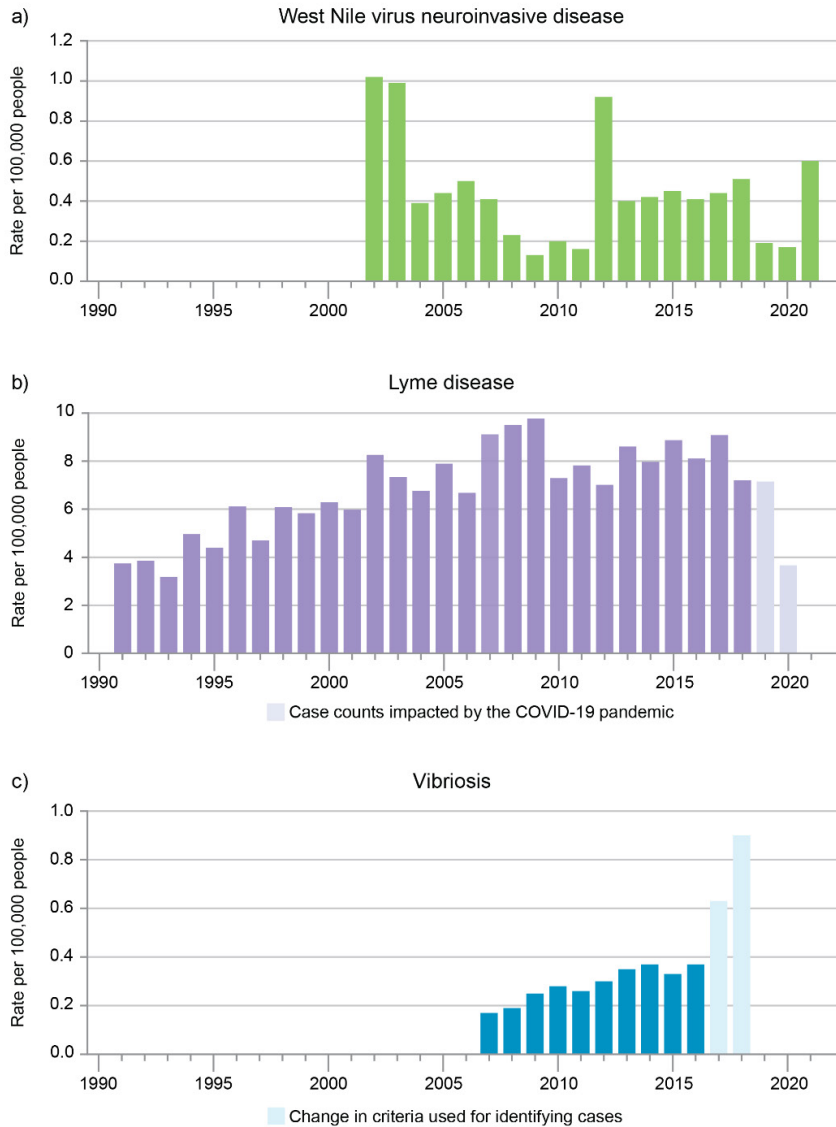
A4.6. Indicadores de salud

El cambio climático aumenta los riesgos y los impactos sobre la salud y el bienestar humanos al exacerbar las amenazas a la salud existentes y crear nuevos desafíos basados en múltiples factores y trayectorias. El cambio climático afecta diversos aspectos de la salud, como los problemas de salud mental y física, las afecciones cardiorrespiratorias debido a la mala calidad del aire, las lesiones y la mortalidad por eventos meteorológicos extremos y la malnutrición por el cambio climático y los factores medioambientales¹⁵.

Es importante que los indicadores de salud incluyan algo más que medidas de las repercusiones en la salud para comprender cómo influyen los impactos climáticos y las exposiciones en las cargas de salud. Un enfoque más amplio es útil debido a las complejas relaciones, a menudo indirectas, entre los factores climáticos, ambientales y sociales, y las repercusiones en la salud, y debido a los desafíos que plantea la recolección y el reporte de datos de salud, incluidos los retrasos en la disponibilidad. Algunos indicadores de salud ampliamente utilizados son las enfermedades y muertes relacionadas con el calor^{21,22,65}, descritos en parte en la NCA4, que también detalla los impactos de un clima cambiante sobre las enfermedades transmitidas por vectores, agua y alimentos, pero sin contexto cuantitativo⁶⁶; para aprovechar este conjunto de conocimientos y destacar ejemplos sólidos de indicadores de enfermedades infecciosas con 1) una sólida base científica que respalde los vínculos entre el clima, el medioambiente y los factores de riesgo humano; 2) la cobertura nacional; y 3) un amplio alcance temporal, este anexo presenta indicadores para tres enfermedades infecciosas de notificación obligatoria a nivel nacional que se reportan habitualmente a los CDC (Figura A4.16).

Los cambios en la temperatura, los patrones de precipitaciones y los eventos extremos pueden alterar la estacionalidad, la distribución y la prevalencia de las enfermedades transmitidas por vectores, por el agua y por los alimentos (KM 15.1)⁷. La enfermedad neuroinvasiva del virus del Nilo Occidental (West Nile Virus, WNV) y la enfermedad de Lyme se ven impactadas por el cambio climático a través de cambios complejos en el uso de la tierra, la ecología de los vectores y el comportamiento humano (Capítulos 8, 15). La vibriosis, relacionada con el calentamiento de las aguas marinas y costeras, es una enfermedad contraída por la exposición a especies bacterianas del género *Vibrio* provenientes de mariscos contaminados o de heridas cutáneas abiertas expuestas a agua contaminada⁷.

Enfermedades infecciosas impactadas por el cambio climático



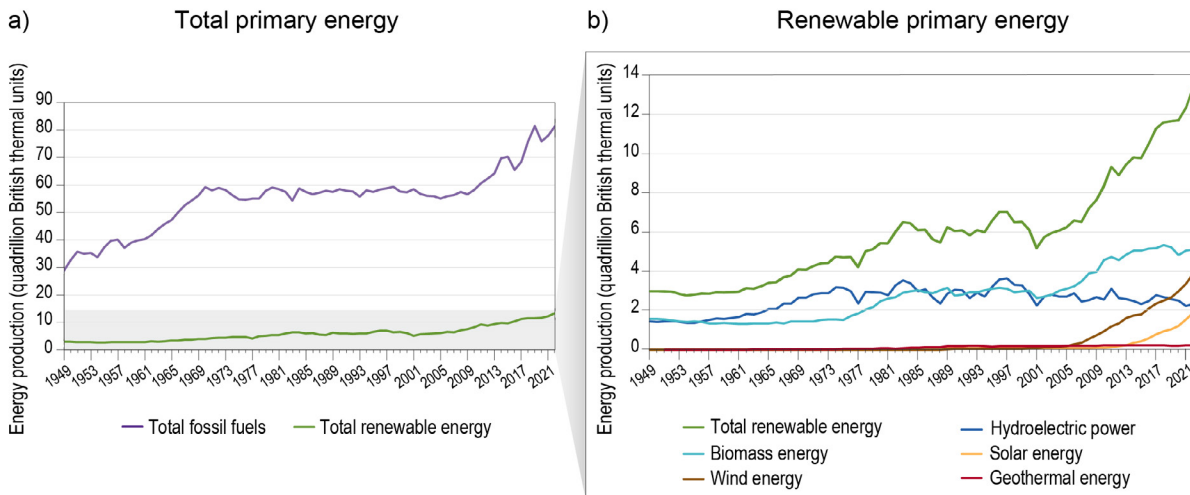
Los factores climáticos, medioambientales y sociales influyen en las tasas de enfermedades infecciosas.

Figura A4.16. Los indicadores de enfermedades ampliamente reconocidas como afectadas por el cambio climático pueden aportar una medida general de la carga de morbilidad y ayudar a orientar los recursos y las acciones de salud pública. Las tasas de incidencia de (a) la enfermedad neuroinvasiva por el virus del Nilo Occidental (West Nile virus, WNV), (b) la enfermedad de Lyme y (c) la vibriosis para los años 2002-2021, 1991-2020 y 2007-2018, respectivamente. En el caso de la enfermedad neuroinvasiva por el WNV, el patrón de las tasas de incidencia es variable, oscilando entre 1 por 100,000 personas en 2002, cuando se convirtió en una afección de reporte obligatorio a nivel nacional, y 0.6 por 100,000 personas en 2021. Las tasas de incidencia de la enfermedad de Lyme han tendido al alza, pasando de 4 casos por cada 100,000 personas en 1991 a 7 casos por cada 100,000 en 2018. Del mismo modo, las tendencias de la vibriosis han aumentado desde 2007. Los casos confirmados y probables son recolectados por los departamentos de salud estatales y locales y reportados al Sistema Nacional de Vigilancia de Enfermedades de Reporte Obligatorio o al sistema de Vigilancia del Cólera y Otras Enfermedades por *Vibrio* (Cholera and Other *Vibrio* Illness Surveillance, COVIS). Los CDC recopilan los números y las tasas anuales de cada estado. Los datos de vigilancia de la enfermedad de Lyme en 2019 y 2020 se vieron notablemente afectados por la pandemia del COVID-19 (barras de color púrpura claro). Las definiciones de caso se revisan ocasionalmente, pero como la definición de caso de vibriosis cambió significativamente en 2017, las tendencias antes (barras azules) y después (barras celestes) no son comparables. (a) Adaptado de la EPA 2023⁶⁷; (b) adaptado de la EPA 2023⁶⁸; (c) adaptado de Sheahan et al. 2022⁶⁹.

A4.7. Indicadores de adaptación y mitigación

La adaptación para promover la resiliencia climática de las poblaciones, los ecosistemas y las infraestructuras, así como la mitigación para reducir las emisiones, son fundamentales, sobre todo para proteger el bienestar humano y el medioambiente (Capítulos 31, 32). Los indicadores de adaptación y mitigación son herramientas importantes que ayudan a seguir y evaluar el progreso^{70,71,72}, así como a evaluar las decisiones de adaptación y mejorar la resiliencia (KM 31.5). Esto puede hacerse, por ejemplo, agregando el número de actividades de adaptación documentadas por estado durante un período determinado (Figuras 1.3, 31.1, 32.20). Aunque valiosos para la toma de decisiones y la evaluación de la efectividad, los indicadores de resiliencia, respuestas de adaptación y capacidad de adaptación siguen siendo relativamente limitados^{72,73,74}. La Figura A4.17 es un ejemplo de indicador de mitigación que muestra cómo ha aumentado en los años recientes la producción energética de los EE. UU. procedente de energías renovables (KM 32.1; Figuras 26.6, 32.3).

Producción de energía por fuentes



La producción energética estadounidense a partir de energías renovables está aumentando.

Figura A4.17. La figura muestra series temporales anuales de la producción energética de los EE. UU. para (a) energía primaria total (que incluye tanto los combustibles fósiles como las energías renovables) y (b) categorías de energía renovable (biomasa, eólica, hidroeléctrica, solar y geotérmica) para 1949-2022. La producción energética estadounidense generada por fuentes renovables (línea verde oscura) ha aumentado desde la década de 1960, alcanzando un máximo histórico en 2022, debido principalmente al incremento de la energía eólica (línea marrón) y de la biomasa (línea celeste). La producción de energía a partir de combustibles fósiles (línea púrpura) también aumentó durante este mismo período, aunque con un mayor uso de combustibles fósiles más limpios (KM 5.3). Adaptado de EIA 2023⁷⁵.

El cambio climático impacta de manera desproporcionada determinadas comunidades y poblaciones (Capítulo 20). Factores sociales, medioambientales y económicos^{76,77,78} contribuyen a las disparidades que experimentan los grupos más expuestos a los factores de estrés del cambio climático (KM 15.2). Se han desarrollado índices que combinan múltiples variables para captar cuestiones complejas que afectan las comunidades sobrecargadas (p. ej., Figuras 15.5, 22.12). Además, los indicadores que combinan las dimensiones humanas y sociales con los datos climáticos (p. ej., las Figuras 11.13, 12.6, 22.18) son necesarios para evaluar mejor quién está más expuesto a los impactos y para priorizar y evaluar las decisiones de respuesta.

A4.8. Brechas en el conocimiento y nuevos enfoques

Es vital reconocer los datos específicos de las comunidades indígenas para abordar de manera adecuada los impactos desproporcionados del cambio climático (Capítulo 16)⁷⁹. Indicadores basados en los conocimientos indígenas (KM 16.3)⁸⁰ y centrados en el concepto de especies indicadoras de claves culturales⁸¹ pueden representar mejor las perspectivas de los pueblos indígenas afectados por el cambio climático que los indicadores presentados en este anexo.

Se utilizan indicadores para evaluar la respuesta y la preparación de la comunidad⁸², así como la capacidad de resiliencia de los sistemas socioecológicos⁸³; sin embargo, es difícil incorporar indicadores consistentes de resiliencia y adaptación (p. ej., Brooks 2014⁸⁴, Keenan y Maxwell 2021⁸⁵). Destilar las mejores prácticas a escala comunitaria sigue siendo un desafío⁸⁶. La incipiente comprensión de los eventos compuestos y sus impactos (Capítulo 18) probablemente servirá de base para la elaboración de nuevos indicadores. La confianza en la atribución de los resultados al cambio climático varía según los indicadores físicos del clima, especialmente en el caso de los indicadores sociales y ambientales (p. ej., IPCC 2022¹⁵).

Los estándares sobre intercambio de datos y transparencia derivadas de la Ley de Calidad de la Información (Information Quality Act, IQA; Anexo 2), están bien establecidas para la información geofísica y se recopilan de forma fiable en varios volúmenes recurrentes^{2,9,87}, mientras que la información biológica y de salud suele basarse en datos locales y menos federados. En el caso de la salud, las limitaciones a compartir datos, por motivos de privacidad o costo, dificultan la creación de indicadores consistentes a escala nacional⁸. Los avances en la aplicación de los estándares de la IQA a los datos no físicos aumentarán la disponibilidad y credibilidad de esta información.

Los nuevos sistemas de observación y sensores y la ciencia dirigida por la comunidad (“ciudadana”) aportan opciones de datos adicionales. En años recientes, la participación del público en la recolección y conservación de datos ha desempeñado un papel cada vez más importante en la elaboración de indicadores existentes o potenciales. Estos esfuerzos incluyen mejoras en la documentación de las variables climáticas físicas a escalas más finas⁸⁸, la captación de los impactos o las respuestas de los ecosistemas, y el registro de las influencias relacionadas con el clima en la salud humana⁸⁹.

Aunque los indicadores ofrecen información valiosa sobre los cambios pasados, es importante que estén bien posicionados para aportar información sobre cómo pueden continuar estos cambios en el futuro, para ayudar en la planificación, la adaptación y las decisiones políticas estratégicas. Por ejemplo, los sistemas nacionales de vigilancia, como el Sistema Nacional de Vigilancia de Enfermedades de Reporte Obligatorio⁹⁰, podrían integrar indicadores en los procesos existentes de recolección y análisis de datos para avanzar en la interpretación de los datos observados, las tendencias y los impactos. Los nuevos indicadores que siguen la evolución de los eventos compuestos a lo largo del tiempo podrían ayudar a las comunidades a ser más resilientes al cambio climático (consulte Enfoque en los eventos compuestos).

De cara al futuro, se necesitarán sistemas de indicadores que reflejen la naturaleza acoplada de los sistemas climáticos y los sistemas de gestión para la planificación y elaboración de políticas óptimas. Esto requerirá la integración de disciplinas, grupos de interés, agencias gubernamentales y naciones⁹¹.

Referencias

1. Jay, A., D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D. Barrie, B.J. DeAngelo, A. Dave, M. Dzaugis, M. Kolian, K.L.M. Lewis, K. Reeves, and D. Winner, 2018: Ch. 1. Overview. 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, 33–71. <https://doi.org/10.7930/nca4.2018.ch1>
2. EPA, 2023: Climate Change Indicators in the United States. U.S. Environmental Protection Agency, accessed February 14, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators>
3. Di Napoli, C., A. McGushin, M. Romanello, S. Ayeb-Karlsson, W. Cai, J. Chambers, S. Dasgupta, L.E. Escobar, I. Kelman, T. Kjellstrom, D. Kniveton, Y. Liu, Z. Liu, R. Lowe, J. Martinez-Urtaza, C. McMichael, M. Moradi-Lakeh, K.A. Murray, M. Rabbaniha, J.C. Semenza, L. Shi, M. Tabatabaei, J.A. Trinanes, B.N. Vu, C. Brimicombe, and E.J. Robinson, 2022: Tracking the impacts of climate change on human health via indicators: Lessons from the Lancet Countdown. *BMC Public Health*, **22** (1), 663. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13055-6>
4. Kenney, M.A., A.C. Janetos, and M.D. Gerst, 2020: A framework for national climate indicators. *Climatic Change*, **163** (4), 1705–1718. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2307-y>
5. 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>
6. Romanello, M., C. Di Napoli, P. Drummond, C. Green, H. Kennard, P. Lampard, D. Scamman, N. Arnell, S. Ayeb-Karlsson, L.B. Ford, K. Belesova, K. Bowen, W. Cai, M. Callaghan, D. Campbell-Lendrum, J. Chambers, K.R. van Daalen, C. Dalin, N. Dasandi, S. Dasgupta, M. Davies, P. Dominguez-Salas, R. Dubrow, K.L. Ebi, M. Eckelman, P. Ekins, L.E. Escobar, L. Georgeson, H. Graham, S.H. Gunther, I. Hamilton, Y. Hang, R. Hänninen, S. Hartinger, K. He, J.J. Hess, S.-C. Hsu, S. Jankin, L. Jamart, O. Jay, I. Kelman, G. Kiesewetter, P. Kinney, T. Kjellstrom, D. Kniveton, J.K.W. Lee, B. Lemke, Y. Liu, Z. Liu, M. Lott, M.L. Batista, R. Lowe, F. MacGuire, M.O. Sewe, J. Martinez-Urtaza, M. Maslin, L. McAllister, A. McGushin, C. McMichael, Z. Mi, J. Milner, K. Minor, J.C. Minx, N. Mohajeri, M. Moradi-Lakeh, K. Morrissey, S. Munzert, K.A. Murray, T. Neville, M. Nilsson, N. Obradovich, M.B. O'Hare, T. Oreszczyn, M. Otto, F. Owfi, O. Pearman, M. Rabbaniha, E.J.Z. Robinson, J. Rocklöv, R.N. Salas, J.C. Semenza, J.D. Sherman, L. Shi, J. Shumake-Guillemot, G. Silbert, M. Sofiev, M. Springmann, J. Stowell, M. Tabatabaei, J. Taylor, J. Triñanes, F. Wagner, P. Wilkinson, M. Winning, M. Yglesias-González, S. Zhang, P. Gong, H. Montgomery, and A. Costello, 2022: The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Health at the mercy of fossil fuels. *The Lancet*, **400** (10363), 1619–1654. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(22)01540-9)
7. USGCRP, 2016: *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. Crimmins, A., J. Balbus, J.L. Gamble, C.B. Beard, J.E. Bell, D. Dodgen, R.J. Eisen, N. Fann, M.D. Hawkins, S.C. Herring, L. Jantarasami, D.M. Mills, S. Saha, M.C. Sarofim, J. Trtanj, and L. Ziska, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, 312 pp. <https://doi.org/10.7930/j0r49nqx>
8. Liu, A.Y., J.M. Trtanj, E.K. Lipp, and J.M. Balbus, 2021: Toward an integrated system of climate change and human health indicators: A conceptual framework. *Climatic Change*, **166** (3), 49. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03125-w>
9. USGCRP, 2023: USGCRP Indicators Platform. U.S. Global Change Research Program, accessed October 3, 2023. <https://www.globalchange.gov/indicators/>
10. CDC, 2020: National Environmental Public Health Tracking: Climate Change. Centers for Disease Control and Prevention, accessed April 5, 2023. <https://www.cdc.gov/nceh/tracking/topics/climatechange.htm>
11. EPA, n.d.: EPA Climate Indicator Map Viewer. U.S. Environmental Protection Agency, accessed May 20, 2023. <https://experience.arcgis.com/experience/bdd9567a847a4b52abd20253539143df>
12. NASA, 2023: Global Climate Change—Vital Signs of the Planet: Understanding Our Planet to Benefit Humankind. National Aeronautics and Space Administration. <https://climate.nasa.gov/>
13. NOAA, 2023: National Marine Ecosystem Status: Assessing Our Marine and Great Lakes Ecosystems. National Oceanic and Atmospheric Administration, accessed May 5, 2023. <https://ecowatch.noaa.gov/>

14. Kunkel, K.E., R. Frankson, J. Runkle, S.M. Champion, L.E. Stevens, D.R. Easterling, B.C. Stewart, A. McCarrick, and C.R. Lemery, 2022: State Climate Summaries for the United States 2022. NOAA Technical Report NESDIS 150. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, Silver Spring, MD. <https://statesummaries.ncics.org/>
15. IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
16. UN Environment Programme, n.d.: About Montreal Protocol. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>
17. USGCRP, 2023: USGCRP Indicators Platform: Annual Greenhouse Gas Index. U.S. Global Change Research Program, accessed May 25, 2023. <https://www.globalchange.gov/indicators/annual-greenhouse-gas-index>
18. EPA, 2023: Climate Change Indicators: Seasonal Temperature. U.S. Environmental Protection Agency, accessed February 14, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-seasonal-temperature>
19. Raymond, C., T. Matthews, R.M. Horton, E.M. Fischer, S. Fueglistaler, C. Ivanovich, L. Suarez-Gutierrez, and Y. Zhang, 2021: On the controlling factors for globally extreme humid heat. *Geophysical Research Letters*, **48** (23), e2021GL096082. <https://doi.org/10.1029/2021gl096082>
20. Rogers, C.D.W., M. Ting, C. Li, K. Kornhuber, E.D. Coffel, R.M. Horton, C. Raymond, and D. Singh, 2021: Recent increases in exposure to extreme humid-heat events disproportionately affect populated regions. *Geophysical Research Letters*, **48** (19), e2021GL094183. <https://doi.org/10.1029/2021gl094183>
21. EPA, 2023: Climate Change Indicators: Heat Related Illnesses. U.S. Environmental Protection Agency, accessed February 14, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/heat-related-illnesses>
22. EPA, 2023: Climate Change Indicators: Heat Related Deaths. U.S. Environmental Protection Agency, accessed February 14, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heat-related-deaths>
23. USGCRP, 2023: USGCRP Indicators Platform: Heat Waves. U.S. Global Change Research Program, accessed May 25, 2023. <https://www.globalchange.gov/indicators/heat-waves>
24. Xian, G., H. Shi, Q. Zhou, R. Auch, K. Gallo, Z. Wu, and M. Kolian, 2022: Monitoring and characterizing multi-decadal variations of urban thermal condition using time-series thermal remote sensing and dynamic land cover data. *Remote Sensing of Environment*, **269**, 112803. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112803>
25. 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-19-01851>
26. EPA, 2023: Climate Change Indicators: Heavy Precipitation. U.S. Environmental Protection Agency, accessed February 14, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heavy-precipitation>
27. USGCRP, 2023: USGCRP Indicators Platform: Atlantic Tropical Cyclone Days. U.S. Global Change Research Program, accessed May 25, 2023. <https://www.globalchange.gov/indicators/atlantic-tropical-cyclone-days>
28. Smith, A.B., 2022: 2021 U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters in Historical Context. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Centers for Environmental Information. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond-data/2021-us-billion-dollar-weather-and-climate-disasters-historical>
29. NCEI, 2023: 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/>
30. USGCRP, 2023: USGCRP Indicators Platform: Billion Dollar Disasters. U.S. Global Change Research Program, accessed May 25, 2023. <https://www.globalchange.gov/indicators/billion-dollar-disasters>
31. Peters-Lidard, C.D., K.C. Rose, J.E. Kiang, M.L. Strobel, M.L. Anderson, A.R. Byrd, M.J. Kolian, L.D. Brekke, and D.S. Arndt, 2021: Indicators of climate change impacts on the water cycle and water management. *Climatic Change*, **165** (1-2), 36. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03057-5>

32. Stevens, L.E., T.K. Maycock, and B.C. Stewart, 2021: Climate change in the human environment: Indicators and impacts from the Fourth National Climate Assessment. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **71** (10), 1210–1233. <https://doi.org/10.1080/10962247.2021.1942321>
33. EPA, 2023: Climate Change Indicators: Arctic Sea Ice. U.S. Environmental Protection Agency, accessed February 14, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-arctic-sea-ice>
34. NOAA, 2023: Arctic Report Card. National Oceanic and Atmospheric Administration, accessed May 5, 2023. <https://www.arctic.noaa.gov/report-card>
35. USGCRP, 2023: USGCRP Indicators Platform: Arctic Sea Ice Extent. U.S. Global Change Research Program, accessed May 25, 2023. <https://www.globalchange.gov/indicators/arctic-sea-ice-extent>
36. CRS, 2023: Changes in the Arctic: Background and Issues for Congress. CRS Report R41153. Congressional Research Service. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/r/r41153>
37. NSIDC, 2023: Sea Ice Index Daily and Monthly Image Viewer. University of Colorado Boulder, National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO, accessed March 6, 2023. https://nsidc.org/data/seaiice_index/data-and-image-archive
38. EPA, 2023: Climate Change Indicators: Snowpack. U.S. Environmental Protection Agency, accessed February 14, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-snowpack>
39. Williams, A.P., B.I. Cook, and J.E. Smerdon, 2022: Rapid intensification of the emerging southwestern North American megadrought in 2020–2021. *Nature Climate Change*, **12** (3), 232–234. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01290-z>
40. EPA, 2023: Climate Change Indicators: River Flooding. U.S. Environmental Protection Agency, accessed February 14, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-river-flooding>
41. USFS, 2022: National Stream and Aquatic Ecology Center: Flood Potential. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, accessed March 31, 2022. <https://www.fs.usda.gov/biology/nsaec/projects-floodpotential.html>
42. Jasinski, M.F., J.S. Borak, S.V. Kumar, D.M. Mocko, C.D. Peters-Lidard, M. Rodell, H. Rui, H.K. Beaudoin, B.E. Vollmer, K.R. Arsenault, B. Li, J.D. Bolten, and N. Tangdamrongsub, 2019: NCA-LDAs: Overview and analysis of hydrologic trends for the National Climate Assessment. *Journal of Hydrometeorology*, **20** (8), 1595–1617. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-17-0234.1>
43. Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería, and J.I. López-Moreno, 2010: A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, **23** (7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009jcli2909.1>
44. EPA, 2023: Climate Change Indicators: Drought. U.S. Environmental Protection Agency, accessed February 14, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-drought>
45. NCEI, n.d.: CONUS Climate Divisions. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Centers for Environmental Information, accessed August 16, 2023. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/reference-maps/conus-climate-divisions>
46. NOAA, 2023: Tides & Currents: Relative Sea Level Trends. National Oceanic and Atmospheric Administration, accessed May 5, 2023. <https://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/>
47. Sweet, W.V., B.D. Hamlington, R.E. Kopp, C.P. Weaver, P.L. Barnard, D. Bekaert, W. Brooks, M. Craghan, G. Dusek, T. Frederikse, G. Garner, A.S. Genz, J.P. Krasting, E. Larour, D. Marcy, J.J. Marra, J. Obeysekera, M. Osler, M. Pendleton, D. Roman, L. Schmied, W. Veatch, K.D. White, and C. Zuzak, 2022: Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States: Updated Mean Projections and Extreme Water Level Probabilities Along U.S. Coastlines. NOAA Technical Report NOS 01. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Silver Spring, MD, 111 pp. <https://oceanservice.noaa.gov/hazards/sealevelrise/sealevelrise-tech-report-sections.html>
48. NOAA, 2023: National Marine Ecosystems Status: Sea Surface Temperature. National Oceanic and Atmospheric Administration, accessed May 5, 2023. <https://ecowatch.noaa.gov/thematic/sea-surface-temperature>
49. Oliver, E.C.J., M.G. Donat, M.T. Burrows, P.J. Moore, D.A. Smale, L.V. Alexander, J.A. Benthuisen, M. Feng, A. Sen Gupta, A.J. Hobday, N.J. Holbrook, S.E. Perkins-Kirkpatrick, H.A. Scannell, S.C. Straub, and T. Wernberg, 2018: Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications*, **9** (1), 1324. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9>

50. EPA, 2023: Climate Change Indicators: Marine Species Distribution. U.S. Environmental Protection Agency, accessed March 3, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-marine-species-distribution>
51. USGCRP, 2023: USGCRP Indicators Platform: Marine Species Distribution. U.S. Global Change Research Program, accessed May 25, 2023. <https://www.globalchange.gov/indicators/marine-species-distribution>
52. Pinsky, M.L., B. Worm, M.J. Fogarty, J.L. Sarmiento, and S.A. Levin, 2013: Marine taxa track local climate velocities. *Science*, **341** (6151), 1239–1242. <https://doi.org/10.1126/science.1239352>
53. Wieland, A., 2021: Dancing the supply chain: Toward transformative supply chain management. *Journal of Supply Chain Management*, **57** (1), 58–73. <https://doi.org/10.1111/jscm.12248>
54. EPA, 2021: Seasonality and Climate Change: A Review of Observed Evidence in the United States. EPA 430-R-21-002. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-12/30339_epa_report_climate_change_and_seasonality_v12_release_508.pdf
55. Weltzin, J.F., J.L. Betancourt, B.I. Cook, T.M. Crimmins, C.A.F. Enquist, M.D. Gerst, J.E. Gross, G.M. Henebry, R.A. Hufft, M.A. Kenney, J.S. Kimball, B.C. Reed, and S.W. Running, 2020: Seasonality of biological and physical systems as indicators of climatic variation and change. *Climatic Change*, **163** (4), 1755–1771. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02894-0>
56. Radeloff, V.C., D.P. Helmers, H.A. Kramer, M.H. Mockrin, P.M. Alexandre, A. Bar-Massada, V. Butsic, T.J. Hawbaker, S. Martinuzzi, A.D. Syphard, and S.I. Stewart, 2018: Rapid growth of the US wildland-urban interface raises wildfire risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **115** (13), 3314–3319. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718850115>
57. Monitoring Trends in Burn Severity, 2022: MTBS Data Access: Fire Level Geospatial Data. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, and U.S. Geological Survey, accessed March 31, 2022. <http://mtbs.gov/direct-download>
58. CBO, 2022: Wildfires. Congressional Budget Office. <https://www.cbo.gov/publication/58212>
59. Ahlering, M.A., C. Kazanski, P.E. Lendrum, P. Borrelli, W. Burnidge, L. Clark, C. Ellis, K. Gadzia, J. Gelbard, S. Gennet, J. Goodwin, J.E. Herrick, E. Kachergis, C. Knapp, N. Labbe, K. Maczko, E. Porzig, D. Rizzo, S. Spiegel, and C. Wilson, 2021: A synthesis of ranch-level sustainability indicators for land managers and to communicate across the US beef supply chain. *Rangeland Ecology & Management*, **79**, 217–230. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2021.08.011>
60. van Selm, B., A. Frehner, I.J.M. de Boer, O. van Hal, R. Hijbeek, M.K. van Ittersum, E.F. Talsma, J.P. Lesschen, C.M.J. Hendriks, M. Herrero, and H.H.E. van Zanten, 2022: Circularity in animal production requires a change in the EAT-Lancet diet in Europe. *Nature Food*, **3** (1), 66–73. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00425-3>
61. Havstad, K.M., D.P.C. Peters, R. Skaggs, J. Brown, B. Bestelmeyer, E. Fredrickson, J. Herrick, and J. Wright, 2007: Ecological services to and from rangelands of the United States. *Ecological Economics*, **64** (2), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.08.005>
62. Reeves, M.C., B.B. Hanberry, H. Wilmer, N.E. Kaplan, and W.K. Lauenroth, 2021: An assessment of production trends on the Great Plains from 1984 to 2017. *Rangeland Ecology and Management*, **78**, 165–179. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.01.011>
63. Briske, D.D., L.A. Joyce, H.W. Polley, J.R. Brown, K. Wolter, J.A. Morgan, B.A. McCarl, and D.W. Bailey, 2015: Climate-change adaptation on rangelands: Linking regional exposure with diverse adaptive capacity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **13** (5), 249–256. <https://doi.org/10.1890/140266>
64. Cleland, D.T., J.A. Freeouf, J.E. Keys, G.J. Nowacki, C.A. Carpenter, and W.H. McNab, 2007: Ecological Subregions: Sections and Subsections for the Conterminous United States. Gen. Tech. Report WO-76D. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. <https://doi.org/10.2737/wo-gtr-76d>
65. CDC, 2023: Heat & Health Tracker. Centers for Disease Control and Prevention, accessed April 5, 2023. <https://ephtracking.cdc.gov/Applications/heatTracker/>
66. Ebi, K.L., J.M. Balbus, G. Luber, A. Bole, A. Crimmins, G. Glass, S. Saha, M.M. Shimamoto, J. Trtanj, and J.L. White-Newsome, 2018: Ch. 14. Human health. In: *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II*. Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D. Easterling, K. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 539–571. <https://doi.org/10.7930/nca4.2018.ch14>

67. EPA, 2023: Climate Change Indicators: West Nile Virus. U.S. Environmental Protection Agency, accessed March 3, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-west-nile-virus>
68. EPA, 2023: Climate Change Indicators: Lyme Disease. U.S. Environmental Protection Agency, accessed March 3, 2023. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-lyme-disease>
69. Sheahan, M., C.A. Gould, J.E. Neumann, P.L. Kinney, S. Hoffmann, C. Fant, X. Wang, and M. Kolian, 2022: Examining the relationship between climate change and vibriosis in the United States: Projected health and economic impacts for the 21st century. *Environmental Health Perspectives*, **130** (8), 087007. <https://doi.org/10.1289/ehp9999a>
70. Cutter, S.L., B.J. Boruff, and W.L. Shirley, 2003: Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, **84** (2), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
71. Hicke, J.A., S. Lucatello, L.D. Mortsch, J. Dawson, M.D. Aguilar, C.A.F. Enquist, E.A. Gilmore, D.S. Gutzler, S. Harper, K. Holsman, E.B. Jewett, T.A. Kohler, and K. Miller, 2022: Ch. 14. North America. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 1929–2042. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.016>
72. Vogel, J., M.J. Kolian, A.S. Juliana, H. Hosterman, J. Peers, D. Krishland, and K. Carney, 2020: Past is prologue: A case study exploration of the role of climate indicators in adaptation in the United States. *Climate Services*, **20**, 100202. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2020.100202>
73. Ebi, K., C. Boyer, K. Bowen, H. Frumkin, and J. Hess, 2018: Monitoring and evaluation indicators for climate change-related health impacts, risks, adaptation, and resilience. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **15** (9), 1943. <https://doi.org/10.3390/ijerph15091943>
74. Kenney, M.A. and M.D. Gerst, 2021: Synthesis of indicators, datasets, and frameworks available to establish resilience and adaptation indicators: Case study of Chesapeake Bay region, USA. *Current Climate Change Reports*, **7** (2), 35–44. <https://doi.org/10.1007/s40641-021-00170-6>
75. EIA, 2023: Total Energy. U.S. Energy Information Administration, accessed April 13, 2023. <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/?tbl=t01.02#/?f=a>
76. Colburn, L.L., M. Jepson, C. Weng, T. Seara, J. Weiss, and J.A. Hare, 2016: Indicators of climate change and social vulnerability in fishing dependent communities along the Eastern and Gulf Coasts of the United States. *Marine Policy*, **74**, 323–333. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.04.030>
77. Ebi, K.L. and J.J. Hess, 2020: Health risks due to climate change: Inequity in causes and consequences. *Health Affairs*, **39** (12), 2056–2062. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.01125>
78. Thomas, K., R.D. Hardy, H. Lazrus, M. Mendez, B. Orlove, I. Rivera-Collazo, J.T. Roberts, M. Rockman, B.P. Warner, and R. Winthrop, 2019: Explaining differential vulnerability to climate change: A social science review. *WIREs Climate Change*, **10** (2), e565. <https://doi.org/10.1002/wcc.565>
79. STACCWG, 2021: The Status of Tribes and Climate Change Report. Marks-Marino, D., Ed. Northern Arizona University, Institute for Tribal Environmental Professionals, Flagstaff, AZ. <http://nau.edu/stacc2021>
80. Reyes-García, V., Á. Fernández-Llamazares, M. Guèze, A. Garcés, M. Mallo, M. Vila-Gómez, and M. Vilaseca, 2016: Local indicators of climate change: The potential contribution of local knowledge to climate research. *WIREs Climate Change*, **7** (1), 109–124. <https://doi.org/10.1002/wcc.374>
81. Wyllie de Echeverria, V.R. and T.F. Thornton, 2019: Using traditional ecological knowledge to understand and adapt to climate and biodiversity change on the Pacific coast of North America. *Ambio*, **48** (12), 1447–1469. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01218-6>
82. FEMA, 2022: Community Resilience Indicator Analysis: Commonly Used Indicators from Peer-Reviewed Research: Updated for Research Published 2003–2021. U.S. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency. https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_2022-community-resilience-indicator-analysis.pdf
83. Cabell, J.F. and M. Oelofse, 2012: An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, **17** (1). <https://doi.org/10.5751/es-04666-170118>

84. Brooks, N., 2014: Indicators for the Monitoring and Evaluation of Adaptation. IIED Briefing. International Institute for Environment and Development, 4 pp. <https://www.iied.org/17273iied>
85. Keenan, J.M. and K. Maxwell, 2021: Rethinking the design of resilience and adaptation indicators supporting coastal communities. *Journal of Environmental Planning and Management*, **65** (12), 2297–2317. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1971635>
86. Brown, C., R.R. Shaker, and R. Das, 2018: A review of approaches for monitoring and evaluation of urban climate resilience initiatives. *Environment, Development and Sustainability*, **20** (1). <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9891-7>
87. Blunden, J. and T. Boyer, 2021: State of the Climate in 2020. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **102** (8). <https://doi.org/10.1175/2021bamsstateofthecclimate.1>
88. Reges, H.W., N. Doesken, J. Turner, N. Newman, A. Bergantino, and Z. Schwalbe, 2016: CoCoRaHS: The evolution and accomplishments of a volunteer rain gauge network. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **97** (10), 1831–1846. <https://doi.org/10.1175/bams-d-14-00213.1>
89. Crimmins, T.M. and M.A. Crimmins, 2022: Large-scale citizen science programs can support ecological and climate change assessments. *Environmental Research Letters*, **17** (6), 065011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac72b7>
90. CDC, 2022: National Notifiable Diseases Surveillance System (NNDSS). Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/nndss/index.html>
91. Beauchamp, E., M. Hirons, K. Brown, and E.J. Milner-Gulland, 2020: Twenty priorities for future social-ecological research on climate resilience. *Environmental Research Letters*, **15** (10), 105006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb157>