

Interacciones sectoriales, factores de estrés múltiples y sistemas complejos



Capítulo 18. Interacciones sectoriales, factores de estrés múltiples y sistemas complejos

Autores y colaboradores

Autor principal de coordinación federal

Robert Vallario, US Department of Energy

Autor principal del capítulo

Katharine J. Mach, University of Miami

Autores del capítulo

Jeffrey R. Arnold, MITRE Corporation

Christa Brelsford, Oak Ridge National Laboratory

Katherine V. Calvin, Pacific Northwest National Laboratory (hasta January 2022)

Alejandro N. Flores, Boise State University

Jing Gao, University of Delaware

Kripa Jagannathan, Lawrence Berkeley National Laboratory

David Judi, Pacific Northwest National Laboratory

Carlos E. Martín, Brookings Institution

Frances C. Moore, University of California, Davis (hasta August 2022)

Richard Moss, Pacific Northwest National Laboratory, Joint Global Change Research Institute (hasta April 2023)

Earthea Nance, Texas Southern University (hasta December 2021)

Brenda Rashleigh, US Environmental Protection Agency

Patrick M. Reed, Cornell University

Linda Shi, Cornell University

Lynée L. Turek-Hankins, University of Miami

Editor revisor

David L. McCollum, Oak Ridge National Laboratory

Arte de apertura de capítulo

Carolina Aragon

Cita recomendada

Mach, K.J., R. Vallario, J.R. Arnold, C. Brelsford, K.V. Calvin, A.N. Flores, J. Gao, K. Jagannathan, D. Judi, C.E. Martín, F.C. Moore, R. Moss, E. Nance, B. Rashleigh, P.M. Reed, L. Shi, and L.L. Turek-Hankins, 2023: Cap. 18. Interacciones sectoriales, factores de estrés múltiples y sistemas complejos. 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.CH18.ES>

Índice de Contenidos

Introducción	5
Mensaje clave 18.1 Las interconexiones entre la actividad humana y la naturaleza crean riesgos y oportunidades climáticos inesperados	6
Recuadro 18.1. Los centros de datos crean una nueva interconexión crítica entre energía, agua y economía	9
Mensaje clave 18.2 La complejidad de los impactos y las respuestas climáticas agrava la situación de las comunidades de primera línea	9
Recuadro 18.2. Los incendios forestales y el COVID-19 provocan impactos acumulativos y en cascada a lo largo del tiempo	11
Mensaje clave 18.3 La colaboración entre diversos poseedores de conocimientos mejora las respuestas a los complejos retos climáticos	12
Recuadro 18.3 Diferentes formas de conocimiento y colaboración entre grupos apoyan la adaptación local	16
Mensaje clave 18.4 Están surgiendo nuevos enfoques de gobernanza, pero persisten brechas en la práctica y la evidencia	17
Cuentas trazables	21
Descripción del proceso	21
Mensaje clave 18.1	21
Mensaje clave 18.2	22
Mensaje clave 18.3	24
Mensaje clave 18.4	25
Referencias	27

Introducción

La Quinta Evaluación Nacional del Clima estudia las múltiples formas en que el cambio climático afecta a las personas, la naturaleza y las infraestructuras en todo el país y en todo el mundo. Los capítulos se dividen por sectores y temas, como el agua (Capítulo 4), alimentos (Capítulo 11), economía (Capítulo 19) y justicia social (Capítulo 20). También están organizados por regiones, desde el Noreste (Capítulo 21) a Hawái y las islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU. (Capítulo 30).

Pero en realidad, los impactos y riesgos del cambio climático se despliegan a través de sectores y regiones que interactúan entre sí. Por ejemplo, un incendio forestal en una región (Capítulo 7) puede afectar la calidad del aire (Capítulo 14) y la salud humana (Capítulo 15) en otras regiones también (Capítulos 21-30), dependiendo de dónde soplen los vientos. Además, los peligros relacionados con el clima interactúan con factores de estrés múltiples que podría parecer que no tienen nada que ver con el cambio climático, como la pandemia del COVID-19, las recesiones económicas o las desigualdades sociales. Por ejemplo, distintos hogares con diferentes niveles de riqueza pueden tener capacidades muy diferentes para evacuar antes de un huracán o recuperarse si sus casas sufren daños (Capítulos 9, 20, 22, 23).

Como consecuencia, si solo se tuviera en cuenta la perspectiva de un único sector, tema o región, muchos impactos climáticos podrían omitirse o pasarse por alto. Las consecuencias del cambio climático serían inesperadas y sorprendentes. Y al mismo tiempo, las perspectivas de las respuestas climáticas, ya sea mediante la adaptación o la mitigación, también dependen fundamentalmente de estas mismas interacciones entre sectores y regiones. Por ejemplo, al utilizar el agua (Capítulo 4) para la energía hidroeléctrica (Capítulo 5) se pueden impactar los peces de los ríos (Capítulo 8), así como el abastecimiento de agua para la agricultura en comunidades rurales (Capítulo 11) y el uso residencial en las grandes ciudades (Capítulo 12). Si no se tienen en cuenta este tipo de interacciones, las respuestas climáticas serán menos efectivas y podrían perderse oportunidades.

Este capítulo se trata de estas profundas conexiones inherentes a los impactos, los riesgos y las respuestas del clima. El capítulo considera estas interacciones e interdependencias entre sectores y regiones como sistemas complejos que pueden provocar impactos en cascada y fallos repentinos, así como un potencial a veces sorprendente para reducir nuestras emisiones de gases que atrapan el calor y prepararnos para riesgos climáticos que no pueden evitarse.

El capítulo está organizado como se indica a continuación. En primer lugar, presenta lo que sabemos sobre los sistemas complejos y explica cómo estos —que involucran interacciones entre sectores y regiones— pueden provocar impactos climáticos más rápido de lo previsto o limitar las opciones futuras (KM 18.1). En segundo lugar, el capítulo evalúa cómo los impactos y las respuestas climáticas complejas e interactivas pueden ser más estresantes para las comunidades sobrecargadas (KM 18.2). En tercer lugar, el capítulo evalúa cómo los enfoques colaborativos para generar conocimientos sobre sistemas complejos pueden conducir a mejores respuestas climáticas (KM 18.3). Por último, el capítulo examina el grado de preparación de los actuales enfoques de gobernanza para manejar la complejidad del cambio climático (KM 18.4).

Mensaje clave 18.1

Las interconexiones entre la actividad humana y la naturaleza crean riesgos y oportunidades climáticos inesperados

Los sistemas humano-naturales son dinámicos y complejos. Las redes interconectadas de personas, infraestructuras, materias primas, bienes y servicios influyen los riesgos climáticos cambiantes y son cada vez más vulnerables a sus impactos (*confianza alta*). Las vulnerabilidades de estas redes y sus efectos en los sistemas humano-naturales dependen en gran medida de las respuestas humanas y de otros factores de estrés compuestos (*confianza alta*). Los tomadores de decisiones que buscan reducir los riesgos del cambio climático tienen que navegar objetivos y perspectivas diversos y, a veces, contrapuestos entre muchos actores, instituciones y escalas geográficas, conciliando al mismo tiempo profundas incertidumbres y límites a la previsibilidad (*alta confianza*).

En un clima cambiante, las interconexiones entre los sistemas humanos y naturales ocasionan tanto éxitos como fracasos. Por ejemplo, los sistemas eléctricos pueden fallar si se exponen a vientos o calores extremos (KM 5.2). Cuando fallan, también se altera el transporte, el tratamiento del agua y de las aguas residuales, las telecomunicaciones, los servicios de salud y muchas otras actividades económicas (KM 19.3)^{1,2}. Las interacciones entre personas, sistemas (p. ej., redes, naturaleza, etc.) y sectores transmiten así oportunidades y riesgos de unos a otros (p. ej., KM 27.4), como del sistema eléctrico al sistema de transporte. Estas interacciones generan nuevos riesgos y pueden tanto aumentar como limitar las amenazas existentes^{3,4,5,6}. La Figura 18.1 muestra seis características interconectadas y traslapadas de los sistemas humano-naturales; cada una de estas características contribuye a la complejidad de los sistemas e influye en la efectividad de las acciones de mitigación y adaptación climática. El Recuadro 18.1 ilustra este tipo de interacciones a través de un ejemplo específico: centros de datos.

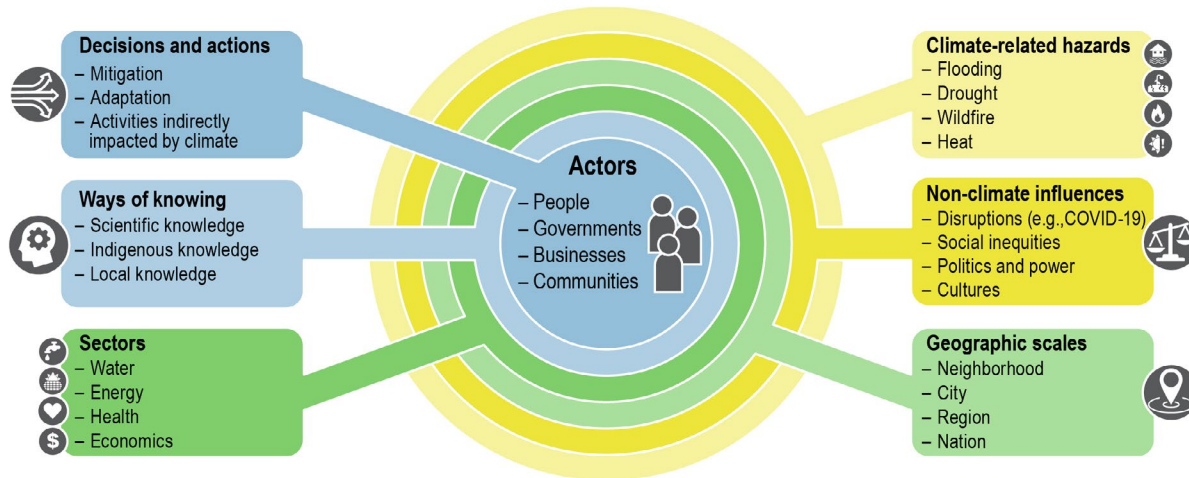
El cambio climático hace más importantes las interconexiones existentes entre los sistemas humanos y naturales por dos razones. En primer lugar, muchos sistemas humanos y naturales presentan condiciones en las que una pequeña perturbación o cambio puede producir impactos muy grandes, pero estas condiciones no siempre se conocen de antemano⁷. Por ejemplo, la tormenta invernal de febrero de 2021 en Texas fue una perturbación relativamente breve de 10 días de condiciones meteorológicas frías extremas, pero provocó fallos en cascada en muchos sectores (p. ej., energía, agua, salud, etc.), así como muertes e impactos económicos de larga duración para la región y para las personas⁸. Existe evidencia de que el calentamiento del Polo Norte puede aumentar la posibilidad de que se produzcan este tipo de tormentas invernales en los EE. UU.⁹. En segundo lugar, el cambio climático crea condiciones fundamentalmente nuevas para los sistemas naturales, por lo que hay más posibilidades de experimentar estos grandes impactos potencialmente negativos. La aridificación del Suroeste de los EE. UU. provocada por el cambio climático es un ejemplo de cambio fundamental que ha ocasionado un calor más persistente y severo, así como a sequías extremas. Las consecuencias de este cambio fundamental son complejas, lo que aumenta el potencial de impactos compuestos y en cascada. Estos efectos incluyen aumentos simultáneos de los riesgos potenciales para la salud humana, interrupciones de los servicios críticos de transporte, estrés en los sistemas eléctricos y conflictos por la escasez de agua en distintas regiones y sectores^{10,11}. El riesgo global de malos resultados aumenta y las fuentes de riesgo son más complejas. Se han producido avances sustanciales en el estudio de los sistemas humano-naturales complejos y adaptativos^{3,12,13,14,15,16,17,18}. Las innovaciones en muchas disciplinas están ayudando a abordar los riesgos interconectados^{19,20,21,22,23,24,25,26}. Además, las medidas de mitigación y adaptación climática dependen unas de otras e interactúan entre sí. Ambos requieren resiliencia frente a combinaciones cada vez más intensas y complejas de influencias, perturbaciones y peligros futuros. La

Figura 18.1 muestra cómo estas influencias futuras pueden ser peligros relacionados con el clima, como inundaciones, sequías o incendios forestales; cambios medioambientales, como modificaciones en la composición de los bosques; o tendencias o alteraciones sociales, como cambios en las economías, los contextos políticos, las culturas o las enfermedades^{2,5,12,16,22,23,26,27,28,29}. La mitigación y la adaptación involucran cambios importantes en los sistemas humano-naturales con implicaciones globales y locales (KM 31.1, 32.5). Pueden provocar cambios fundamentales en las cadenas de suministro, los modelos de consumo, las tecnologías y la rivalidad por unos recursos naturales limitados (consulte también Enfoque en Riesgos de las Cadenas de Suministro)^{13,27,30,31,32,33,34}. Se prevé que estos cambios sigan teniendo un impacto desproporcionado en las poblaciones y los ecosistemas expuestos (KM 4.2, 5.2, 8.3, 9.3, 15.2).

Por lo tanto, existen concesiones mutuas, beneficios vinculados y dependencias entre las transiciones energéticas, las acciones de adaptación y las metas de sostenibilidad (KM 17.4, 25.4, 31.3, 32.2)^{12,15,19,22,28,35,36,37,38,39,40}. Por ejemplo, un mayor suministro de energía limpia ayuda a alimentar el aire acondicionado para mantener las casas frescas bajo un calor cada vez más intenso, al tiempo que garantiza que este mayor uso de la energía no provoque emisiones de gases que atrapan el calor. Esta situación también tiene implicaciones para la equidad y la justicia social, ya que la reducción de la pobreza y la mejora de la seguridad energética son necesarias para que todos los hogares puedan costear un aire acondicionado adecuado. Estas interacciones demuestran la importancia de tener en cuenta las diversas formas de conocimiento, las dinámicas de poder social e institucional y la justicia al transitar por los riesgos, los retos y los beneficios de las intervenciones y las políticas (Figura 18.1; KM 16.3, 17.4, 20.1, 31.3)^{31,41,42,43}. Los avances recientes son prometedores para evaluar las concesiones mutuas entre riesgos y beneficios, las interconexiones y las secuencias de acción o inacción a distintas escalas^{44,45,46,47}. Sin embargo, la rápida evolución de los sistemas humanos, su dinámica multisectorial y sus interconexiones con los sistemas naturales crean futuros muy inciertos. Muchos futuros son posibles y hay desacuerdo sobre su probabilidad o sobre cómo pueden configurar las respuestas de los distintos sistemas humano-naturales. Por lo tanto, siguen existiendo retos importantes para medir las concesiones mutuas entre riesgos y beneficios al evaluar posibles acciones^{48,49,50,51}.

El reconocimiento de estas profundas incertidumbres y de las dificultades para predecir las complejas interconexiones entre los sistemas humanos y naturales durante largos períodos ha ocasionado el uso de modelación exploratoria de sistemas^{52,53,54}. Este enfoque tiene en cuenta diversas perspectivas científicas y utiliza escenarios para comprender mejor una amplia gama de posibles resultados futuros. Por ejemplo, los escenarios pueden examinar las consecuencias de condiciones meteorológicas extremas que nunca se han dado pero que podrían darse en un clima futuro. El enfoque pretende descubrir qué condiciones, acciones y resultados futuros son los más consecuentes^{45,47,55,56,57}. Las inversiones de capital asociadas a las nuevas fuentes de energía y a la adaptación al cambio climático son costosas y duraderas. La modelación exploratoria de los beneficios y los impactos de estas inversiones puede ayudar a evitar la amplificación involuntaria de los riesgos y aumentar la resiliencia futura. La modelación exploratoria puede servir de apoyo a la planificación de la adaptación al proporcionar un abanico más amplio de futuros, como para los sistemas costeros sometidos al aumento del nivel del mar⁵⁸, e identificando de manera más clara las respuestas que se producen en los complejos sistemas humanos y naturales interconectados.

Interacción y traslape de los sistemas humano-naturales



Las experiencias y acciones relacionadas con el clima conectan con muchas otras actividades y contextos.

Figura 18.1. La interacción y el traslape de las características de los sistemas humano-naturales determinan la capacidad de los actores para responder al cambio climático. La efectividad de las decisiones y acciones –tomadas o no (centro de la figura en color verde azulado)– viene determinada por otras muchas características (anillos exteriores). Las formas de conocimiento (anillo azul claro), como el conocimiento local, indígena o científico, son una base que determina cómo se perciben y comprenden los riesgos y las respuestas climáticas. Hacia el exterior, las interacciones entre sectores (p. ej., agua y energía) y las escalas geográficas (p. ej., desde los vecindarios locales hasta la nación en su conjunto) determinan los riesgos y las respuestas ante los peligros relacionados con el clima (p. ej., inundaciones, sequías, incendios forestales y calor) y las influencias no climáticas (p. ej., desigualdades sociales y culturas). En última instancia, todas estas características definen la complejidad inherente a los riesgos y las respuestas climáticas. Adaptado de Brelsford y Jones 2021⁵⁹.

Recuadro 18.1. Los centros de datos crean una nueva interconexión crítica entre energía, agua y economía

Los centros de datos son edificios que albergan grandes sistemas informáticos que sustentan las actividades en la red y gran parte de la economía estadounidense. Se ha producido un rápido crecimiento del número y del tamaño de los centros de datos a medida que la economía nacional se ha ido orientando hacia la comunicación y las actividades digitales. Aunque el consumo de agua y energía de los centros de datos individuales puede ser difícil de medir con precisión⁶⁰, su huella hídrica y energética es grande —representa el 1.8 % del uso total de electricidad en los EE. UU. y 510 millones de metros cúbicos de agua en 2018— y es un foco de investigación cada vez mayor^{61,62,63}. La ubicación de los centros de datos es un problema complejo, en el que influyen los incentivos de los gobiernos locales y estatales, así como la disponibilidad de tierra, energía y agua para sustentar el enfriamiento, como en los climas que favorecen el enfriamiento evaporativo. La futura demanda de centros de datos, junto con sus necesidades de agua y energía y su influencia en los sistemas vinculados agua-energía-tierra, variará considerablemente en términos geográficos⁶². Dado que los centros de datos dependen tanto del agua como de la energía y son en sí mismos infraestructuras críticas para el funcionamiento de la economía, los centros de datos crean una nueva interconexión entre la energía, el agua y la economía.

En el oeste de los EE. UU., donde los climas áridos son favorables al enfriamiento evaporativo que a menudo se busca para las operaciones de los centros de datos, el agua y la tierra están inextricablemente vinculadas a través de la ley de aguas de apropiación previa (KM 28.1)⁶⁴. En consecuencia, garantizar un suministro adecuado de agua para satisfacer la demanda de los centros de datos puede convertirse en un ejercicio complejo y potencialmente polémico de adquisición de tierras agrícolas y barbecho, un proceso que depende de las leyes estatales que rigen la transferencia de derechos del agua. Además, el potencial creciente de sequías a gran escala y a largo plazo en el oeste de los EE. UU. podría ocasionar eventos imprevistos (KM 4.1, 6.1, 28.3). Por ejemplo, el aumento de los grandes consumidores de agua de carga base, como los centros de datos, puede hacer que el sistema hídrico sea menos capaz de adaptarse a la sequía mediante la conservación a corto plazo. La creciente atención a las huellas medioambientales de los nuevos proyectos de centros de datos en el oeste de los EE. UU. señala potencialmente una nueva interconexión y un posible punto de conflicto entre sectores económicos (KM 6.3), como las industrias tecnológicas frente a la agricultura.

Mensaje clave 18.2

La complejidad de los impactos y las respuestas climáticas agrava la situación de las comunidades de primera línea

Las interacciones combinadas y en cascada entre sectores, los peligros y las zonas geográficas magnifican el impacto del cambio climático y las respuestas sociales para los grupos ya sobrecargados (*confianza alta*). Sin embargo, las evaluaciones de la vulnerabilidad social tienden a estudiar los riesgos y los impactos por sector, peligro o jurisdicción, y la mayoría de los modelos de sistemas complejos no tienen en cuenta todavía la dinámica social y política (*confianza alta*). Los datos sobre cómo los sistemas complejos afectan las comunidades de primera línea bajo el cambio climático son muy escasos, especialmente para las poblaciones de difícil acceso, y esto puede conducir a riesgos e impactos desproporcionados para estos grupos (*confianza alta*).

Los complejos sistemas descritos en KM 18.1 pueden crear impactos climáticos en cascada y agravados que afectan especialmente a personas y comunidades con poca flexibilidad para absorber estrés adicional. Esto incluye comunidades más pequeñas y rurales, hogares con menores ingresos, minorías raciales, personas con problemas de salud y discapacidades, embarazadas, cuidadores, niños pequeños y adultos mayores (KM 4.2, 15.2, 16.2)^{18,65,66,67,68,69,70,71}. La combinación de factores sociales complejos (Figura 18.1) con los múltiples roles e identidades de las personas da forma a sus experiencias vividas de perturbaciones y factores de estrés

múltiples (Figura 18.2)^{72,73,74}. No es casualidad que el acceso a la tierra, a la vivienda, a las infraestructuras, a los alimentos y al agua sea tan desigual en los EE. UU.^{67,75}. En un contexto de desigualdad institucionalizada y de acceso desigual a viviendas seguras e infraestructuras de calidad, las respuestas nuevas y contradictorias de los sectores público y privado a eventos climáticos y no climáticos complejos suelen reforzar las desigualdades existentes¹⁸. Al mismo tiempo, cada persona es portadora de múltiples identidades y desempeña varios papeles, lo que crea vulnerabilidades interseccionales que pueden intensificar los impactos directos del cambio climático y los impactos indirectos de las acciones climáticas de los grupos más privilegiados. Por ejemplo, en las zonas rurales de Alaska, el cambio climático está dificultando la vida de las mujeres iñupiat, que cuidan de varias generaciones, mantienen sistemas alimentarios y culturales basados en la tierra y soportan la violencia de género⁷⁶, mientras que los hombres jóvenes y solteros que trabajan en la industria del petróleo y el gas viven la transición energética de forma muy diferente.

El aumento de la exposición a las inundaciones es un ejemplo de cómo las interacciones en cascada y las vulnerabilidades interseccionales pueden amplificar los daños en comunidades ya sobrecargadas. Los legados de un acceso desigual a préstamos para viviendas residenciales, la incorporación municipal para aislar la riqueza en los suburbios y las inversiones en infraestructuras que privilegiaron a ciertos vecindarios y municipios frente a otros han concentrado a las personas con bajos ingresos, a los afroamericanos y a otras comunidades de primera línea en lugares con alto riesgo de inundación^{77,78,79,80}. Los programas federales de respuesta al riesgo de inundaciones privilegian a las comunidades predominantemente blancas y más ricas al concederles más fondos para diques⁸¹. Estas medidas empeoran las inundaciones río abajo o costa abajo en lugares que no podrían costear este tipo de infraestructuras⁸⁰. Los programas federales también financian de forma desproporcionada a las comunidades predominantemente blancas para que voluntariamente salgan de las llanuras aluviales hacia otros lugares (Figura 20.3)^{82,83,84}, mientras que las personas con bajos ingresos, incluidos los inquilinos, reciben menos ayuda y tienen que trasladarse más lejos, a lugares con menos servicios⁸⁵. El Recuadro 18.2 muestra un ejemplo diferente de cómo los eventos en cascada y compuestos pueden empeorar las desigualdades históricas. Analiza cómo un incendio forestal exacerbó el conflicto social por la tierra, la vivienda y las infraestructuras en California. En consecuencia, la vulnerabilidad acumulativa de las personas únicamente se puede comprender y abordar a través de múltiples escalas de análisis (p. ej., Turek-Hankins et al. 2020⁸⁶) y mediante estrategias integradas de vivienda, planificación, servicios sociales, préstamos y justicia racial.

Los modelos sobre cómo los impactos climáticos afectan sistemas complejos y cómo pueden responder las sociedades no suelen tener en cuenta los diversos papeles, identidades y experiencias vividas por las personas, ni las características sociales, políticas y de gobernanza de la toma de decisiones^{3,87,88,89,90}. Por ejemplo, la polarización política, además de las desigualdades estructurales, determina cada vez más las respuestas individuales y gubernamentales a los desastres y la planificación a largo plazo^{91,92}. Esto puede conducir a un conjunto fragmentario de esfuerzos de mitigación y adaptación en toda una región, lo que puede debilitar el funcionamiento general del sistema^{93,94,95}. Las brechas en los datos agravan las incertidumbres de modelación descritas en el mensaje clave 18.1, especialmente para las zonas urbanas, suburbanas y rurales más pequeñas y menos estudiadas y para las comunidades indígenas (KM 11.3, 16.2)^{69,96,97}. También es limitada la investigación sobre los vínculos entre lugares, por ejemplo, cómo los impactos en los sistemas agrícolas afectan la seguridad alimentaria urbana, la migración y la demanda de vivienda (KM 11.2)⁹⁸. La ausencia de investigación sobre experiencias vividas, impactos y riesgos climáticos y resultados de la implementación para las comunidades sobrecargadas, a menudo conduce a su subrepresentación en la toma de decisiones⁹⁹. La consideración de los diversos papeles e identidades de las personas, la modelación de las respuestas sociales y políticas al cambio climático y la mejora de la disponibilidad de datos pueden mejorar la modelación de sistemas complejos y la inclusividad de las herramientas de toma de decisiones.

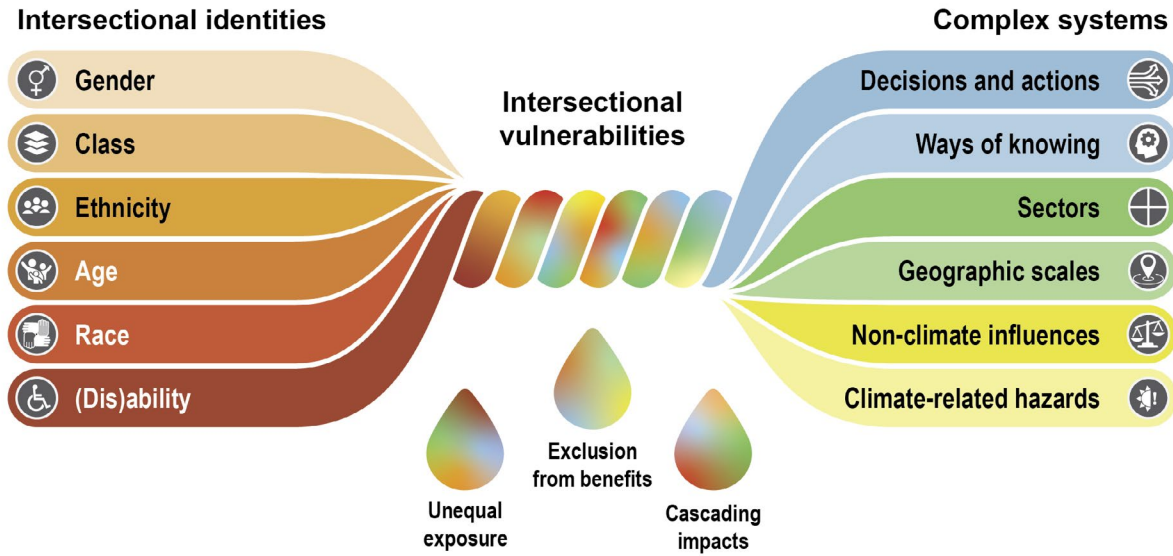
Recuadro 18.2. Los incendios forestales y el COVID-19 provocan impactos acumulativos y en cascada a lo largo del tiempo

Los desastres pueden desencadenar efectos agravantes y en cascada sobre los desplazamientos. Aunque la investigación se ha centrado en los desplazamientos provocados por las inundaciones en los EE. UU.^{100,101}, otros peligros también están intensificando las presiones migratorias (consulte la Figura 20.5). El incendio de Camp, que devastó Paradise y las comunidades circundantes del norte de California en noviembre de 2018, ilustra cómo la migración climática puede desencadenar impactos en cascada en lugares que reciben personas desplazadas (KM 28.4). El incendio de Camp mató a 85 personas, destruyó unos 19,000 edificios y desplazó a más de 50,000 personas^{102,103}. Muchos evacuados huyeron a la cercana ciudad de Chico, que pasó de 93,000 a más de 111.000 habitantes¹⁰⁴. El jefe de policía de Chico, Michael O'Brien, declaró: "Normalmente se dispone de una década para prepararse para semejante crecimiento. Tuvimos unas 10 horas"¹⁰².

La inmigración aumentó el tráfico en un 25 %, las entradas de aguas residuales en un 16 % y los costos anuales de tratamiento de aguas residuales en más de \$725,000 (en dólares de 2022). También convirtió a Chico en el mercado inmobiliario más demandado de Estados Unidos^{102,105}. Los teletrabajadores que huyeron del área de la Bahía durante la pandemia del COVID-19 alimentaron aún más la crisis de asequibilidad de la vivienda en Chico. Incluso antes de 2018, solo el 1.5 % de las viviendas iniciadas eran asequibles para personas con ingresos muy bajos, y la tasa de desocupación era inferior al 1 %^{106,107}. Un comité de acción política avivó los temores en torno al aumento desorbitado de los precios de la vivienda, los nuevos campamentos de personas sin hogar y la delincuencia y las drogas para que el ayuntamiento pasara de ser predominantemente liberal a conservador. La política de vivienda comenzó a hacer énfasis en los desalojos y a criminalizar a los "vagabundos" sin vivienda, lo que generó riesgos e impactos significativamente mayores para las personas indígenas, que están desproporcionadamente representados entre las personas sin hogar¹⁰⁶.

Desde entonces, el cambio climático, el empeoramiento de la calidad del aire debido a las temporadas de incendios forestales posteriores (Figura 14.3), la poca disponibilidad de viviendas asequibles, la pandemia del COVID-19 y el cambio al teletrabajo están impulsando la migración en California de las zonas rurales a las urbanas, de las ciudades más pequeñas a las más grandes y de las ciudades costeras a zonas suburbanas y rurales más asequibles y pintorescas^{108,109,110,111}. En todo el país, la mayoría de las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgos climáticos de las ciudades se centran en los impactos climáticos futuros sobre las poblaciones actuales, sin tener en cuenta los desastres que ocurren en otros lugares y que podrían afectar sus perspectivas¹¹². Los modelos y las herramientas de evaluación que tienen en cuenta los impactos en cascada, especialmente los realizados a escala regional, pueden ayudar a dirigir o anticipar los impactos de la migración exacerbada por el clima (p. ej., Zoraghein y O'Neill 2020¹¹³). Además, los modelos nacionales y regionales de migración climática y de recursos de vivienda pueden ayudar a los gobiernos nacionales y locales a tomar decisiones sobre infraestructuras, uso de la tierra y vivienda.

Vulnerabilidades interseccionales



Los factores sociales y medioambientales interrelacionados privilegian la capacidad de algunas personas para responder al cambio climático.

Figura 18.2. Los impactos del cambio climático y las respuestas de la sociedad agravan las vulnerabilidades interseccionales. El sexo, la clase, la etnia, la edad, la raza y la capacidad de las personas conforman su identidad interseccional (izquierda). Las vulnerabilidades interseccionales surgen cuando las identidades interseccionales interactúan con las desigualdades en sistemas complejos, como se indica en la Figura 18.1 (derecha). Ante los riesgos y las respuestas climáticas, estas vulnerabilidades interseccionales pueden ocasionar exposición desigual, exclusión de los beneficios e impactos en cascada que tienen aún más impacto sobre los grupos ya sobrecargados. Las respuestas sociales al cambio climático —lo que incluye recursos desiguales existentes en los municipios, decisiones sobre dónde asignar las inversiones y formas no inclusivas de conocer— pueden exacerbar los daños existentes y generar otros nuevos. Adaptado con permiso del Recuadro TS.4, Figura 1 de Field *et al.* 2014¹⁴.

Mensaje clave 18.3

La colaboración entre diversos poseedores de conocimientos mejora las respuestas a los complejos retos climáticos

Para responder de manera efectiva a los complejos desafíos climáticos es necesario contar con marcos integrados y enfoques de modelación que incorporen diversos tipos de conocimientos adaptados a contextos y necesidades específicos (*alta confianza*). Los enfoques y herramientas participativos y colaborativos reúnen a diversos poseedores de conocimientos y mejoran la generación y el uso de conocimientos procesables para la toma de decisiones en sistemas complejos (*confianza media*). Estos enfoques colaborativos ayudan a sortear retos complejos, como perspectivas contrapuestas e incertidumbres de conocimiento, mejorando así las respuestas climáticas (*confianza baja*).

Las respuestas de los sistemas complejos al cambio climático requieren diversos tipos de conocimientos, que incorporen diferentes formas de pensar sobre el cambio climático y la complejidad, y a menudo surgen a través de procesos participativos y colaborativos (KM 12.4, 20.2, 31.3, 31.4)^{115,116}. Aunque gran parte de la investigación se centra en análisis, modelos o proyecciones específicos de sectores, regiones o actores particulares, se necesita una diversidad de información más rica para comprender plenamente la complejidad^{116,117}. La toma de decisiones para sistemas complejos se beneficia del conocimiento de la interdependencia de sistemas humano-naturales; lugares donde se toman las decisiones; actores que participan en decisiones, políticas e ideologías y se ven impactados por estas; y los valores, las actitudes y las creencias de personas e instituciones (Figura 18.3)¹¹⁷. Estos conocimientos proceden de diversas disciplinas, así como de esfuerzos interdisciplinarios y transdisciplinarios. El trabajo interdisciplinar integra conocimientos de distintas disciplinas, y los enfoques transdisciplinarios suelen integrar además conocimientos de investigadores y socios no académicos, como comunidades o tomadores de decisiones^{118,119,120,121,122}. Por ejemplo, la investigación en ciencias sociales y humanidades que examina la distribución de las desigualdades del cambio climático ha ayudado a resaltar impactos traslapados y, a menudo, agravados sobre los grupos sobrecargados y puede utilizarse para garantizar la inclusión de esas comunidades en la toma de decisiones sobre la respuesta climática (KM 18.2). El conocimiento transdisciplinar que se nutre tanto de actores académicos como no académicos puede ayudar a clarificar las retroalimentaciones sistémicas y las dependencias del camino que podrían pasar inadvertidas si se observan solo desde perspectivas disciplinarias aisladas (Figuras 18.3, 29.16)^{123,124}. En general, las respuestas de los sistemas complejos requieren ir más allá de los procesos tradicionales de producción de conocimientos en sectores individuales y adoptar enfoques integrados que incluyan diversos tipos de conocimientos y actores^{125,126,127}.

Entre los diversos tipos de conocimientos prácticos necesarios para responder a los complejos riesgos climáticos se encuentran datos y modelos, herramientas de apoyo a la toma de decisiones, estudios de casos, arte y experiencias vividas (KM 4.3, 13.2, 17.1; Recuadro 19.1). Según el contexto y las necesidades, pueden ser fundamentales distintos tipos de conocimientos. Por ejemplo, las formas cualitativas de conocimiento, como las historias orales o las etnografías, proporcionan una comprensión rica y específica de cada lugar sobre cómo funcionan los sistemas complejos y cómo las experiencias relacionadas con el clima influyen el comportamiento¹²⁸. Las narraciones y los datos de origen colectivo sobre eventos extremos, incluida la forma en que la gente los afronta, han mejorado la integración del conocimiento sobre el clima en la vida social y cultural¹²⁹. Las historias han hecho avanzar soluciones climáticas y energéticas al permitir la exploración de la intersección entre naturaleza, humanidad y tecnología¹³⁰.

Los marcos integrados que reúnen distintos tipos de conocimientos en diversos contextos sectoriales y regionales son esenciales para los análisis holísticos de sistemas complejos. Por ejemplo, desarrollos reciente en la modelación de sistemas humano-naturales acoplados no solo han examinado los impactos en cascada entre sectores y escalas, sino que también han incorporado a los modelos relaciones de retroalimentación de los sistemas sociales y políticos¹³¹. La Alianza Climática de Servicios Públicos de Agua (Water Utility Climate Alliance) ha utilizado un enfoque de “cadena de modelos” para vincular los modelos climáticos globales (global climate models, GCM) a los modelos hidrológicos y, luego, a las herramientas de toma de decisiones de las empresas de suministro de agua¹³². Las conexiones entre los GCM y los modelos de copas de árboles urbanos han respaldado el análisis de estrategias de gestión del calor en múltiples dimensiones, como la calidad del aire, la demanda de riego y las emisiones de gases de efecto invernadero^{133,134,135}. Los estudios sobre los sistemas alimentos-energía-agua (Food-Energy-Water, FEW) han desarrollado marcos^{126,136} para comprender mejor las dinámicas regionales y globales de los sistemas intersectoriales FEW^{131,137}.

Estos marcos integrados avanzados se basan en conocimientos procedentes no solo de académicos e investigadores, sino también de una amplia gama de expertos, incluidos profesionales, tomadores de decisiones y poblaciones locales e indígenas^{116,127,138,139,140}. Cada vez hay más ejemplos de científicos comunitarios y

ciudadanos que monitorean indicadores medioambientales específicos a escalas temporales y espaciales que de otro modo serían inviables (consulte el Recuadro 12.2)^{141,142,143,144}. Los conocimientos medioambientales a largo plazo y la memoria socioecológica de los pueblos indígenas han ayudado a detectar, comprender y predecir cambios complejos en los sistemas climáticos^{138,145}. Además, los enfoques de gestión de la tierra basados en el conocimiento indígena han enfatizado durante mucho tiempo la flexibilidad y la diversidad de los recursos y sirven como ejemplos exitosos de prácticas resilientes bajo cambios ambientales complejos (p. ej., Recuadro 27.3)¹³⁸.

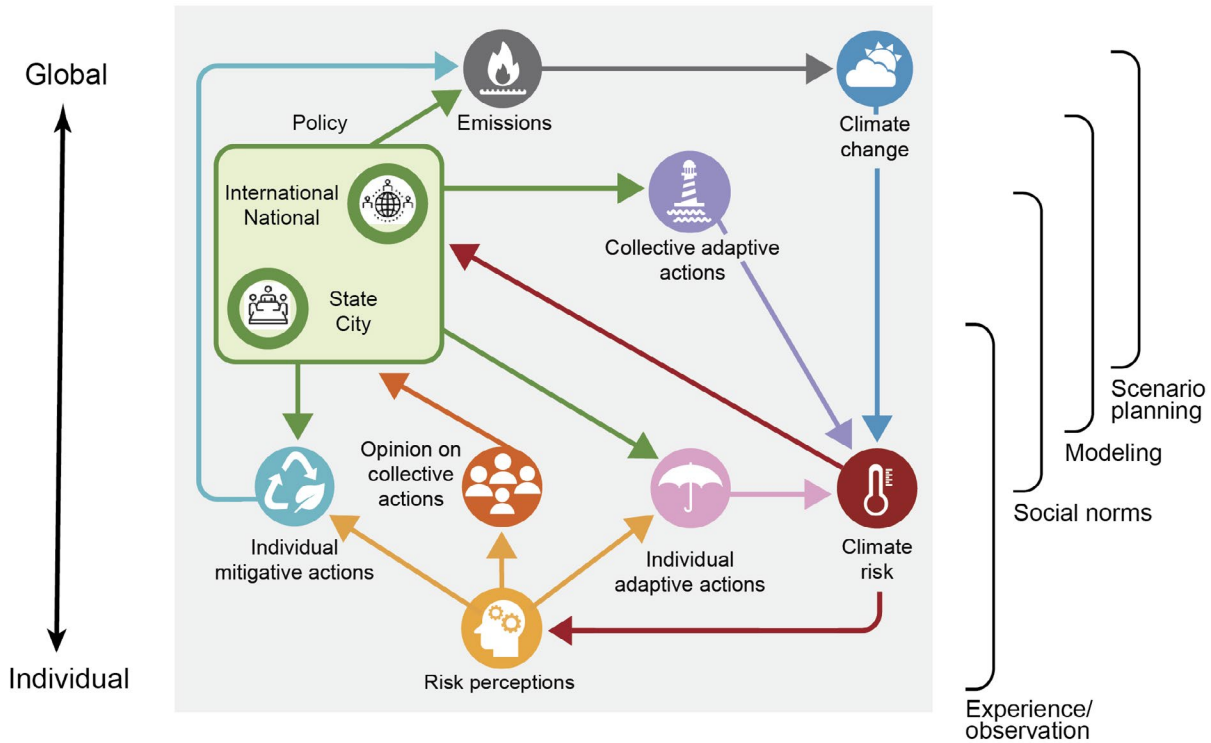
Conectar diferentes poseedores de conocimientos y los conocimientos en sí mismos requiere un tipo diferente de práctica científica que sea más colaborativa, participativa o comprometida con la comunidad^{116,146,147,148,149}. Enfoques como la coproducción, que reúnen diversos poseedores de conocimientos con usuarios potenciales de estos, han demostrado tener éxito en el desarrollo de conocimientos procesables para sistemas complejos (Recuadro 18.3; consulte el mensaje clave 20.2 para obtener más información sobre la participación de diversas partes interesadas)^{150,151,152}. Estos enfoques permiten la iteración y la deliberación sobre múltiples visiones del mundo y han resultado efectivos para mejorar la credibilidad, la relevancia y la confianza en el conocimiento^{115,139,153,154}. También permiten una mejor comprensión y gestión de las incertidumbres del conocimiento^{154,155,156}. Por ejemplo, la modelación participativa de sistemas socioecológicos complejos ha incluido conocimientos profesionales basados en la experiencia para mejorar la identificación de los límites del sistema, obtener alternativas de gestión realistas y aumentar la relevancia de los resultados para la toma de decisiones^{21,132,140,157}. El condado de Los Ángeles ha utilizado la modelación participativa para identificar los impactos en cascada a través de los sistemas de infraestructuras, sus impactos descendentes para los residentes y los puntos clave de intervención¹⁵⁸. Los enfoques de toma de decisiones en colaboración bajo una profunda incertidumbre (decision-making under deep uncertainty, DMDU), como vías de adaptación flexibles, planificación de escenarios y escalado de decisiones, buscan desarrollar respuestas climáticas sólidas para múltiples futuros potenciales en vez de planificar para un único futuro mejor estimado, y también han sido recibidos positivamente por los tomadores de decisiones (consulte la Figura 18.4)^{159,160,161}. El Servicio de Parques Nacionales de los Estados Unidos ha utilizado la planificación colaborativa de escenarios, mediante la reunión de gerentes de recursos naturales y culturales y expertos en la materia, para negociar las incertidumbres sociales y científicas asociadas al cambio climático y fundamentar el establecimiento de metas de conservación y gestión de recursos^{162,163,164,165}.

Para implementar y mantener de manera efectiva estos procesos de colaboración se necesitan organizaciones especializadas que representen a las comunidades científica y política y agencias de servicios climáticos (Recuadro 18.3)^{166,167,168}. Estas agencias que representen a las comunidades científica y política facilitan, traducen y median en los compromisos entre científicos y distintos grupos de actores. Las Asociaciones para la Adaptación al Clima de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), los Centros Científicos para la Adaptación al Clima del Servicio Geológico de Estados Unidos (United States Geological Service, USGS), los Centros Climáticos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (United States Department of Agriculture, USDA) y los servicios universitarios de extensión agraria han surgido como agencias líderes en la producción y el uso de información climática a través de la creación de confianza y asociaciones con diversos grupos de usuarios y poseedores de conocimientos^{169,170}.

La evaluación de la efectividad y la equidad es un aspecto importante de los esfuerzos por utilizar los conocimientos relacionados con el clima en la toma de decisiones en sistemas complejos. Aunque cada vez hay más evidencia de que muchos enfoques colaborativos (como coproducción, planificación colaborativa de escenarios y herramientas de DMDU) han sido efectivos para mejorar la producción y el uso de conocimientos sobre sistemas complejos en la toma de decisiones (Recuadro 18.3); sin embargo, el examen de los resultados a largo plazo y de la equidad de estos procesos y herramientas ha sido limitado^{151,152,171}. Además, tampoco se conocen bien las ventajas y las desventajas relativas de cuándo y dónde son más útiles los

distintos tipos de conocimientos^{119,172}. En general, a pesar de los éxitos preliminares, la comprensión de la transferibilidad, el impacto y la equidad de los diferentes conocimientos y herramientas generados de forma colaborativa sigue siendo incipiente.

Interacción de respuestas y conocimientos climáticos a distintas escalas



Las respuestas climáticas, desde la escala individual a la mundial, interactúan con diversos conocimientos y se nutren de ellos.

Figura 18.3. Las actividades de los gobiernos a múltiples escalas (verde) afectan el riesgo climático (rojo) a través de múltiples vías, al disminuir o aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero (gris) y apoyar acciones adaptativas (o inadaptables) (rosa, morado). Además, las acciones del gobierno se ven influidas por la opinión y los intereses de residentes, empresas y otras organizaciones (naranja), y estos a su vez configuran las acciones de hogares y empresas (rosa, azul). Los actores que interactúan están anidados en múltiples escalas espaciales (izquierda) y también dependen de diferentes fuentes de conocimiento para la toma de decisiones (derecha). Adaptado de Moore *et al.* 2022⁹⁸.

Recuadro 18.3 Diferentes formas de conocimiento y colaboración entre grupos apoyan la adaptación local

Los gobiernos, las empresas, las organizaciones comunitarias y los residentes de las ciudades costeras han sido los primeros en implementar enfoques colaborativos para crear conocimientos que se puedan poner en práctica para una respuesta climática compleja (KM 22.1; consulte también el Recuadro 9.1). El Área de Acción para la Adaptación de Little River, en el condado de Miami-Dade (Florida), es uno de esos ejemplos de una nueva herramienta de planificación flexible¹⁷³. Esta zona está expuesta a inundaciones agravadas por el aumento del nivel del mar, y los retos pueden ser especialmente difíciles. Por ejemplo, cuando las mareas altas y las lluvias coinciden, las fosas sépticas fallan y las aguas residuales se acumulan en las casas y se vierten y contaminan las vías fluviales. Como lo describió un residente: “Podría vivir con un poco de inundación si supiera que el agua no está llena de aguas residuales”¹⁷³. Las causas sistémicas de las disparidades entre vecindarios se remontan a décadas atrás, y las dificultades económicas hacen que los hogares a menudo luchen por reducir los riesgos de las inundaciones, así como del calor húmedo crónico en el hogar¹⁷⁴. A partir de 2020, el Área de Acción para la Adaptación de Little River tiene tres metas principales: 1) utilizar los datos para fundamentar proyectos de capital que reduzcan los riesgos climáticos (consulte también KM 31.5); 2) apoyar enfoques colaborativos en los que el conocimiento y la experiencia de los miembros de la comunidad guíen las soluciones climáticas (consulte también KM 31.3); y 3) acabar con el aislamiento y coordinar las respuestas entre gobiernos, hogares y el sector privado. La implementación de esta herramienta de adaptación flexible ha sido dirigida por el personal de resiliencia de la región, incluidos importantes directores municipales de resiliencia. Con el apoyo de asociaciones entre la investigación y la práctica, como Resilient305 Collaborative, el condado ha permitido la implementación comunitaria de múltiples estrategias climáticas regionales^{173,175,176,177,178}.

De este modo, el Área de Acción para la Adaptación de Little River ha podido poner a prueba enfoques de colaboración y mejorar las respuestas a los complejos retos climáticos. En primer lugar, el esfuerzo de planificación se ha guiado por principios generales como hacer que los residentes estén más seguros mediante un compromiso equitativo, políticas justas e inversiones directas; trabajar con la naturaleza; y apoyar respuestas climáticas flexibles e integradas^{173,175,176}. Estos principios rectores crean señales claras para diseñar y actualizar el proceso de planificación colaborativa. En segundo lugar, los talleres comunitarios y las redes de investigación y práctica han apoyado el uso de información física y socioeconómica y de diversos conocimientos para explorar las estrategias de respuesta preferidas a nivel local con el apoyo de socios estatales y federales, como conversión de pozos sépticos en alcantarillado, ampliación de zonas verdes y mejora de las viviendas^{174,178,179}. Se están utilizando datos granulares y transparentes para comprender la distribución de los impactos climáticos y políticos, como la exposición a las inundaciones y al calor en las comunidades, así como para comprender las características de los edificios, los hogares y los vecindarios que determinan los impactos en las familias. En tercer lugar, la evaluación se ha integrado en los esfuerzos de planificación, como mediante el monitoreo de las inversiones realizadas y de cómo las perciben los residentes¹⁸⁰. Estos esfuerzos de evaluación requieren compromiso y rigor, y son necesarios para comprender hasta qué punto son efectivas las respuestas climáticas tanto para las metas climáticas como para las prioridades más amplias, para identificar los beneficios inesperados y para apoyar las correcciones del rumbo cuando sean necesarias. En cuarto lugar, se están ampliando los enfoques para abordar incertidumbres más profundas, como las implicaciones de grandes cantidades de aumento del nivel del mar y las vías que podrían ayudar a garantizar la flexibilidad a largo plazo donde pueda ser necesaria¹⁸¹.

Mensaje clave 18.4

Están surgiendo nuevos enfoques de gobernanza, pero persisten brechas en la práctica y la evidencia

El cambio climático plantea retos para la gestión de riesgos y respuestas en los distintos niveles de gobierno, el sector privado y la sociedad civil. Las entidades de gobernanza actuales y sus autoridades jurisdiccionales existentes son a menudo incapaces de resolver los conflictos planteados por las interacciones y complejidades de gran alcance y sin precedentes de los riesgos climáticos y los factores de estrés compuestos más localizados (*confianza alta*). Los gobiernos locales y regionales han experimentado con acuerdos institucionales, mecanismos de financiamiento y coordinación de decisiones alternativos (*confianza media*). Sin embargo, hasta ahora solo hay evidencia preliminar de su efectividad (*confianza baja*). Estos proyectos piloto y otras innovaciones desarrolladas para la mitigación y adaptación climática al mismo pueden presentar oportunidades para su reproducción y mayores éxitos en otros lugares y contextos locales diferentes (*confianza media*).

Las respuestas climáticas y las prácticas de gestión se están ampliando para abordar la complejidad de los sistemas humano-naturales en coevolución. La necesidad de una toma de decisiones inclusiva y con base científica en torno a riesgos climáticos complejos es inmensa. La forma y la calidad de la gobernanza de los sistemas individuales e interrelacionados están determinadas por agencias gubernamentales, actores del sector civil y entidades del sector privado¹⁸². Los actores y sus funciones varían según las jurisdicciones y dependen de las autoridades constitucionales, los modos de control (p. ej., propietario, regulador o presupuestario), los territorios geográficos, las funciones relacionadas con el clima, las capacidades técnicas, los presupuestos, el acceso a recursos financieros e intelectuales y el poder institucional o político. El estado actual de estos factores depende de los legados institucionales y de su impulso o inercia en respuesta a las cambiantes condiciones climáticas¹⁸³.

Gobernar sistemas complejos en respuesta al cambio climático plantea retos inherentes (KM 31.3). Las jurisdicciones pertinentes tienden a estar muy definidas y aisladas a pesar de que las interacciones de los sistemas sociales o medioambientales se traslapan¹⁸⁴. Las desigualdades estructurales establecidas en las instituciones de gobernanza del pasado son a menudo inextricables de los actuales procesos de toma de decisiones (KM 20.1). Los fallos del mercado a veces se ignoran (p. ej., la divulgación de los riesgos climáticos de una propiedad) o se agravan por las políticas públicas (p. ej., la titulización de hipotecas para propiedades de riesgo, el pago de reclamaciones de seguros por pérdidas repetidas o la disminución de viviendas asequibles como consecuencia de los esfuerzos de mitigación). Históricamente, el acceso a los recursos financieros e intelectuales ha sido escaso a nivel local y muy variable según las zonas geográficas y los gradientes entre zonas urbanas y rurales¹⁸⁵. La gobernanza de sistemas complejos requiere una flexibilidad que va más allá de la gobernanza formal de cualquier sistema¹⁸⁶. Se han propuesto procesos alternativos para la toma de decisiones o se encuentran en niveles preliminares de implementación. Entre ellas se encuentra una mayor confianza explícita en la evidencia científica, de ingeniería y de ciencias sociales disponible para fundamentar las políticas. También son posibles la planificación iterativa y participativa y la deliberación que incluya a todos los residentes o partes interesadas. Del mismo modo, la transparencia y la responsabilidad en la información y las deliberaciones públicas son cada vez más importantes. La mejora de las estrategias de coordinación entre las entidades gobernantes —adaptándose a la evolución de las condiciones y mejorando la información— incluye la descentralización y la eliminación de decisiones aisladas en el sector público a través de agencias o jurisdicciones, reorganizando efectivamente el gobierno. Las entidades gobernantes también están estudiando la posibilidad de asumir compromisos a más largo plazo en obras

públicas y programación social y en escenarios de visión a más largo plazo de lo que tradicionalmente han prescrito sus actuales plazos presupuestarios y de planificación (KM 12.4). Por último, las instituciones gobernantes reconocen cada vez más la distribución de los riesgos, las dependencias de la trayectoria y los costos y cargas entre las comunidades^{18,187}.

El estado de la evidencia sobre enfoques de gobernanza efectivos varía para cada característica de la gestión de sistemas complejos:

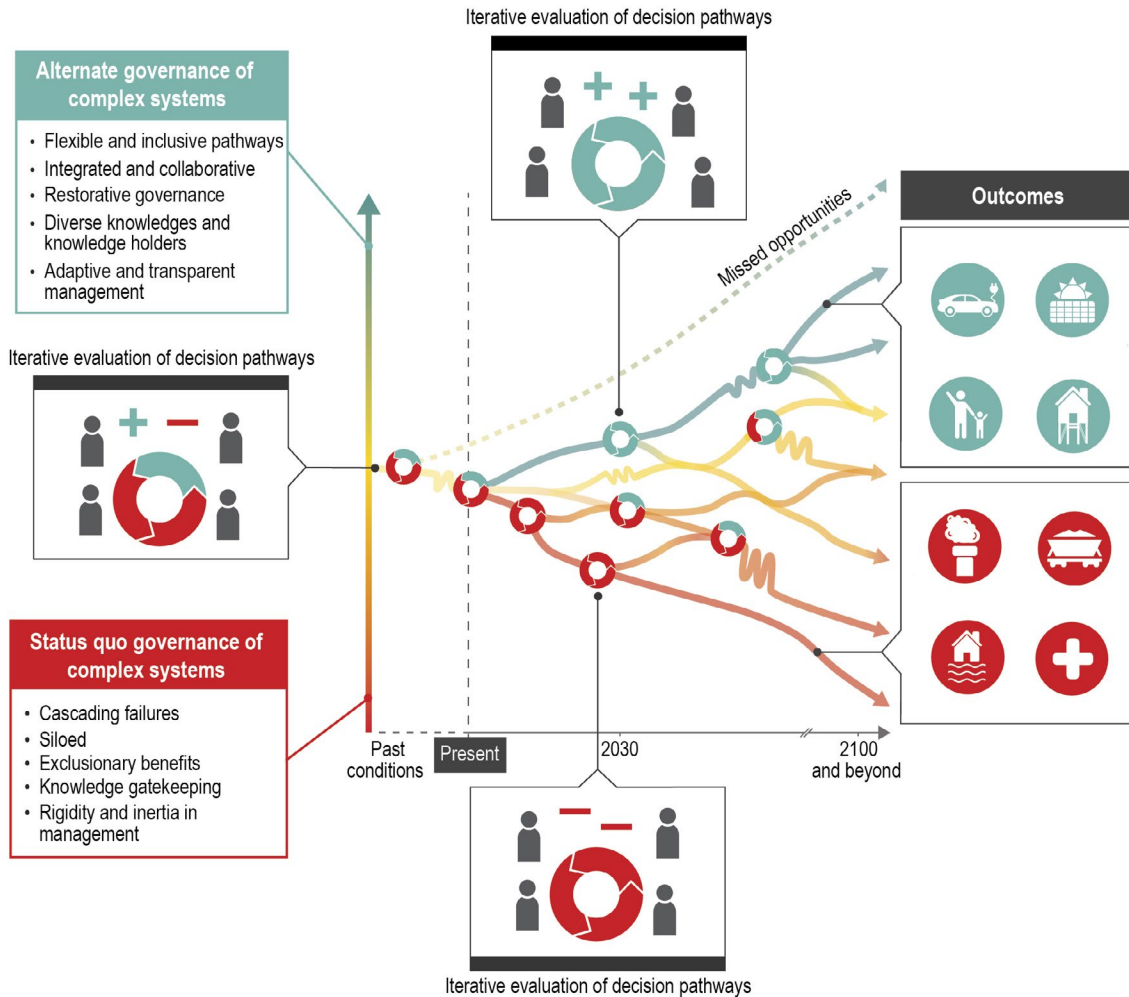
- Los sistemas complejos suelen caracterizarse por *incertidumbre profunda*: presencia de incertidumbres estructurales sistémicas o incógnitas sin probabilidades objetivas. Los riesgos climáticos y los posibles escenarios agravan esta incertidumbre (KM 18.1). Las partes interesadas, como intereses del sector privado, funcionarios del sector público y representantes del sector civil, pueden discrepar sobre la probabilidad de escenarios futuros o las consecuencias de las decisiones. Los enfoques de gobernanza efectivos incluyen transparencia en los marcos del sistema, integración de contingencias y redundancias y planificación y operaciones flexibles para evitar decisiones costosas o imposibles de revertir (Figura 18.4)^{188,189,190,191}. Los actores ya están revisando sus planes de gestión de crisis para evitar los peores resultados y reducir pérdidas a corto plazo.
- Los diversos actores de los sistemas complejos pueden tener *múltiples objetivos, a menudo contrapuestos* en relación con las acciones climáticas. En respuesta, los enfoques de gobernanza efectivos incluyen el establecimiento de criterios consistentes para evaluar acciones alternativas, a veces utilizando principios basados en el consenso. La gobernanza inclusiva, la consulta a las partes interesadas y la consideración explícita de múltiples criterios son otras estrategias para abordar los conflictos entre sistemas. Sin embargo, las interacciones entre los actores a través de estructuras y sistemas de gobernanza traslapados, combinadas con el comportamiento estratégico de las decisiones individuales, pueden complicar estos procesos^{192,193,194,195,196}.
- Los sistemas complejos suelen caracterizarse por *conocimiento y poder ampliamente distribuidos*: con diversos actores que controlan el conocimiento sobre distintas partes del sistema. Los enfoques de estos sistemas de gobernanza policéntrica incluyen procesos de intercambio de datos, coordinación y deliberación de decisiones y la eliminación de toma de decisiones aisladas en áreas relacionadas^{117,197,198,199,200,201,202,203,204,205,206,207,208,209,210,211,212}. Mecanismos como los enfoques basados en el mercado pueden a veces permitir la interacción de diversos actores a través de señales de precios, lo que reduce la necesidad de regulaciones directas y centralizadas, aunque estos esfuerzos pueden no tener en cuenta el acceso financiero desigual y los resultados entre las partes interesadas, en particular las comunidades sobrecargadas^{213,214}.
- La gobernanza de los sistemas complejos tiende a ser *anidada geográfica y funcionalmente*: controlada por múltiples jurisdicciones, como autoridades municipales, estatales y federales (Figura 31.4). Por lo tanto, la coordinación entre actores de distintas jurisdicciones, junto con una mayor claridad y definición de los límites, puede resultar valiosa (Figura 18.3). Las principales herramientas de las estructuras de gobernanza anidadas —es decir, regulación, estatutos, normas de los programas y transferencias presupuestarias coordinadas de múltiples fuentes— pueden negociarse mediante la coordinación en vez de la preferencia^{202,215,216,217,218,219,220,221,222,223,224}.

- Por último, las *retroalimentaciones* y *dependencias de trayectorias* son comunes en los sistemas complejos. Las decisiones en un momento dado, como la capacidad y la ubicación de proyectos de infraestructuras físicas, pueden ampliar o limitar las opciones más adelante (Figura 18.4). En consecuencia, puede resultar difícil prever todos los efectos de las medidas de gestión, sobre todo a largo plazo. Las dependencias de la trayectoria y la retroalimentación de las políticas pueden llevar a compromisos inmediatos que restrinjan cambios posteriores. Las estrategias de gobernanza efectivas incluyen enfoques de gestión adaptativa que monitorean, evalúan y modifican repetidamente las acciones, aunque tales estrategias de gobernanza no están bien desarrolladas^{225,226,227,228,229,230,231,232,233,234,235}.

En general, solo existe evidencia preliminar de los efectos de las estructuras de gobernanza alternativas sobre las acciones de mitigación y adaptación climática o sus resultados. Las estructuras de gobernanza existentes son en gran medida anteriores a las respuestas públicas contemporáneas al cambio climático y se remontan a la historia del federalismo estadounidense, el autogobierno, la privatización y las colaboraciones regionales *ad hoc* o los distritos especiales creados en respuesta a necesidades o crisis temporales. Por lo general, estas estructuras no se han reconfigurado ante los complejos retos climáticos, con algunas excepciones (KM 31.3). La estructura de gobierno entre el Gobierno Federal y los gobiernos estatales en la mayoría de los sistemas está definida constitucionalmente. Por lo tanto, los flujos de recursos y otras formas de ayuda resultantes están definidos normativamente por autorizaciones y apropiaciones de los programas. Las entidades de gobernanza existentes, como las agencias gubernamentales estatales, han intentado una amplia coordinación interna entre los gobiernos subestatales, aunque los ajustes han tenido un éxito variado y un liderazgo controvertido²³⁶.

Hay más ejemplos de estructuras de gobierno alternativas entre los gobiernos subnacionales y dentro de ellos. Ejemplos de los primeros son la Iniciativa Regional de Gases de Efecto Invernadero para acciones de mitigación climática o el Pacto Regional de Cambio Climático del Sureste de Florida (Recuadro 18.3) para la adaptación climática; estos esfuerzos intentan gestionar múltiples sistemas a través de diferentes jurisdicciones^{237,238}. Se han creado otras entidades de coordinación regional entre estados, condados dentro de los estados o ciudades dentro de estos, incluidas las afiliadas a la Alianza de Colaboraciones Regionales para la Adaptación Climática. Pero estos esfuerzos suelen estar limitados por las facultades constitucionales permitidas por el nivel superior de gobierno (por ejemplo, un estado por encima de los condados). Existe evidencia preliminar sobre la efectividad de los profesionales del clima a título individual (p. ej., directores de resiliencia y encargados de ampliar los límites)^{203,239}. Sin embargo, los resultados a largo plazo de estos esfuerzos no se han medido de forma concluyente²⁴⁰.

Gobernanza de sistemas complejos



Gobernar sistemas complejos involucra vías de toma de decisiones a lo largo del tiempo.

Figura 18.4. La gestión adaptativa de sistemas complejos involucra una serie de elecciones y acciones a lo largo del tiempo. Existen dependencias de trayectoria determinadas por el pasado y el presente, oportunidades para mantener la flexibilidad en condiciones de gran incertidumbre y necesidades de aprendizaje iterativo a lo largo del tiempo. La gobernanza de los sistemas complejos es más efectiva cuando es flexible, inclusiva, integrada, colaborativa y adaptativa. En cada momento de la toma de decisiones (círculos con flechas), los distintos responsables evalúan las posibles soluciones disponibles en ese momento y eligen un camino para seguir (personas en gris que consideran los beneficios y concesiones mutuas de los distintos caminos posibles). Dadas estas respuestas, las vías alternativas (roja, naranja, amarilla y verde) pueden seguir siendo posibles en el futuro o quedar cerradas. En cada punto de decisión, una consideración importante es cómo las acciones tomadas pueden ampliar o reducir las opciones disponibles en el futuro. Adaptado con permiso de la Figura SPM.6 en IPCC 2023²⁴¹.

Cuentas trazables

Descripción del proceso

El alcance de este capítulo se desarrolló en primer lugar teniendo en cuenta 1) el capítulo correspondiente de la Cuarta Evaluación Nacional del Clima (Fourth National Climate Assessment, NCA4) como punto de partida; 2) el nuevo énfasis en temas relevantes para los sistemas complejos, las interacciones entre sectores y los factores de estrés múltiples en la NCA5; y 3) la evolución de las áreas de investigación y práctica.

El autor principal del capítulo identificó importantes áreas de especialización para el equipo de autores, incluidos métodos de sistemas complejos, métodos de compromiso y especialización temática (p. ej., energía-agua-tierra, costero o urbano). Los autores potenciales se identificaron a partir de la base de datos de nominaciones, búsquedas de literatura realizadas por el autor principal del capítulo y el autor principal coordinador y los autores del capítulo de la NCA4.

El borrador de primer orden, el borrador de segundo orden (Second Order Draft, 2OD), el borrador de tercer orden (Third Order Draft, 3OD) y el borrador de cuarto orden (Fourth Order Draft, 4OD) se elaboraron a partir del esquema narrativo del borrador cero (Zero Order Draft, ZOD) mediante un proceso de varias etapas. En primer lugar, se solicitaron opiniones sobre el marco y los temas del capítulo a través de un taller de participación pública. Los debates se centraron en el marco del capítulo de la NCA5 sobre complejidad, experiencias vividas y gestión de interacciones complejas. En segundo lugar, los autores de los capítulos debatieron el esquema, y se identificó un autor principal, junto con colaboradores adjuntos, para cada mensaje clave, figura y recuadro. En tercer lugar, la redacción se llevó a cabo mediante procesos iterativos de conversaciones entre todo el equipo y los subgrupos sobre el alcance y el enfoque de cada elemento del capítulo, revisiones de literatura y preparación de textos y gráficos, así como mediante la identificación de los resultados de evaluación emergentes, las áreas de traslapeo entre las secciones del capítulo y las posibles indicaciones para el perfeccionamiento en las siguientes fases de redacción. En cuarto lugar, en la revisión del ZOD se utilizaron los debates entre capítulos y los comentarios del público sobre el 2OD. Estos temas se priorizaron aún más a medida que se revisaba el capítulo en el desarrollo del texto y las figuras del 3OD, incorporando también los comentarios de revisión sobre el 2OD. A continuación, se elaboró el 4OD con base en la revisión pública y los comentarios de las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, NASEM), con la supervisión del editor revisor del capítulo.

Mensaje clave 18.1

Las interconexiones entre la actividad humana y la naturaleza crean riesgos y oportunidades climáticos inesperados

Descripción de la base de evidencia

El material del mensaje clave 18.1 se basa en gran medida en la reciente evaluación realizada en el desarrollo del informe sobre la visión de la Dinámica Multisectorial (Multisector Dynamics, MSD)³ que fue una evaluación en profundidad por parte de una comunidad de investigación diversa basada directamente en la NCA4, así como en literatura reciente ajena al alcance de dicho informe. Además de citar el propio informe, el mensaje clave 18.1 cita directamente la literatura subyacente del informe sobre la visión de la MSD y otros campos como sistemas socioecológico-técnicos, sociohidrología, sistemas complejos, modelación exploratoria y toma de decisiones en condiciones de gran incertidumbre^{5,12,13,14,15,16,17,18,25,54,56,242}. Teniendo en cuenta esta base, el mensaje clave parte de una amplia base de evidencia, para la que el acuerdo en la literatura se refiere tanto a las áreas de acuerdo entre los estudios como a las profundas incertidumbres que persisten.

La Figura 18.1 es una combinación de trabajos nuevos y existentes. La fuente subyacente era un diagrama conceptual de la complejidad en los sistemas urbanos y las lentes a través de las cuales puede organizarse y comprenderse. Aquí, la figura se ha adaptado para los sistemas complejos en su conjunto, perseguidos a través de una lente orientada a los actores y reflejando la revisión de los autores de las figuras que explican diferentes aspectos de la complejidad en los sistemas socioecológicos o en los sistemas humanos-naturales acoplados bajo un clima cambiante^{5,29,243,244,245,246,247,248,249}. La Figura 1 del resumen ejecutivo del informe sobre la visión de la MSD también fue una fuente de inspiración, aunque la figura incluida en esta evaluación se centra en los actores y sus capacidades de respuesta. Este ajuste refleja el creciente reconocimiento del papel de las personas en los sistemas complejos y los riesgos y las respuestas climáticas asociados.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Las grandes incertidumbres se reconocen explícitamente en el debate sobre las incertidumbres profundas inherentes a los sistemas complejos. Con base en la literatura disponible, ofrecemos una evaluación de los enfoques emergentes relevantes para los sistemas complejos bajo tales incertidumbres. Existen profundas incertidumbres al predecir las complejas interconexiones entre los sistemas humanos y naturales durante largos períodos, que se ven especialmente exacerbadas por la falta de investigaciones sobre sistemas humanos que se centren en las interacciones entre los sistemas humanos y naturales^{12,14,22}. La modelación exploratoria de sistemas^{52,53,54} está desarrollando enfoques para abordar estas profundas incertidumbres.

Descripción de confianza y probabilidad

Dada la sólida evidencia que sustenta esta sección fundamental del capítulo, junto con el alto acuerdo sobre esa evidencia (consulte especialmente la evaluación fundamental de Reed *et al.* 2022b³) el mensaje clave 18.1 se evalúa con *confianza alta* en general. La primera declaración de confianza del mensaje clave describe la creciente vulnerabilidad de los sistemas interconectados humano-naturales a los riesgos del cambio climático. Dado el alto grado de concordancia entre las voluminosas fuentes de evidencia^{1,3,5,12,14,15,16,20,25,26,28,29,30,35,242,248,250}, asignamos *confianza alta* a esta declaración. La segunda declaración describe cómo estas vulnerabilidades dependen de las respuestas humanas y de otros factores de estrés compuesto. Dado el alto grado de acuerdo entre muchas fuentes de evidencia (consulte lo indicado anteriormente), asignamos *confianza alta* a esta declaración. La declaración final describe los diversos objetivos, a veces contrapuestos, que los tomadores de decisiones deberán tener en cuenta al gestionar los riesgos climáticos. Dado el alto grado de concordancia entre la amplia fuente de evidencia (consulte lo indicado anteriormente), asignamos *confianza alta* a esta declaración.

Mensaje clave 18.2

La complejidad de los impactos y las respuestas climáticas agrava la situación de las comunidades de primera línea

Descripción de la base de evidencia

La evidencia de los impactos intersectoriales de los peligros naturales, los esfuerzos de descarbonización y la adaptación al clima está bien documentada. Las evaluaciones cuantitativas de los resultados de los programas y los resultados posteriores a los desastres, con un gran número de puntos de datos, muestran consistentemente que los municipios más rurales o más pequeños son menos capaces de atraer recursos para la adaptación (p. ej., Mach *et al.* 2019⁸³). Numerosos estudios de casos y evaluaciones espaciales y cuantitativas aportan evidencia de las tendencias al desplazamiento de los desastres exacerbados por el clima y las iniciativas de mitigación y resiliencia climáticas^{73,85,109,251,252,253}. La investigación cualitativa en profundidad y los estudios longitudinales de comunidades sobrecargadas han estudiado cómo los desastres cíclicos

erosionan la capacidad de respuesta de la comunidad^{254,255,256} y desencadenan efectos en cascada sobre las infraestructuras y la vivienda en las ciudades que acogen a grupos que migran o se ven desplazados por eventos y tendencias relacionados con el clima¹⁰³. La investigación sobre la transición climática desde las economías de combustibles fósiles muestra que estos esfuerzos se entrecruzan con retos sociales, culturales y políticos para crear vulnerabilidades y complejidades interseccionales^{257,258}.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Tan importante como lo que sabemos sobre los impactos distributivos en los sistemas complejos es lo que no sabemos o no medimos. La mayor parte de la investigación que evalúa los sistemas complejos es muy tecnocrática y se centra en eventos específicos, riesgos discretos y los impactos de los sistemas de infraestructuras en cascada, el cambio demográfico y los sistemas de recursos naturales. Sin embargo, los estudios sobre la complejidad no suelen abarcar la gran cantidad de investigaciones sociales y de humanidades — cada vez más centradas en el cambio climático— relacionadas con las respuestas culturales, psicológicas y efectivas a las perturbaciones; los estudios raciales, de género y orientados a la equidad sobre las vulnerabilidades; los riesgos y las respuestas de la sociedad; o el papel de la ideología política y los conflictos violentos (p. ej., Palmer y Smith 2014⁸⁹; Beckage *et al.* 2020⁸⁷; Moore *et al.* 2022⁸⁸; Reed *et al.* 2022²⁴², 2022³; Rising *et al.* 2022⁹⁰). Estos asuntos pueden ayudar a explicar la toma de decisiones políticas, las protestas y los conflictos después de los desastres, y son importantes para comprender las interacciones entre los sistemas sociales y físicos a corto y largo plazos. El resultado es una falta de herramientas y comunidades de práctica para integrar las divisiones disciplinarias en apoyo de la investigación de sistemas complejos.

Los limitados conocimientos sobre la migración exacerbada por el clima y sobre cómo están respondiendo las ciudades receptoras generan incertidumbres sobre las diferencias entre la migración climática y otras formas de migración, lo que significa la migración para las tendencias generales de vulnerabilidad y cómo impactará otros sistemas físicos y naturales interrelacionados. La información sobre los vínculos entre las zonas urbanas y rurales es limitada, especialmente en formas que puedan servir de apoyo a la modelación de sistemas complejos. Las concesiones mutuas entre los esfuerzos de mitigación y las estrategias de adaptación con impactos contrapuestos en el bienestar de las personas también están poco estudiadas.

Descripción de confianza y probabilidad

Existe *confianza alta* en cada declaración del mensaje clave 18.2. En primer lugar, existe un amplio consenso en la literatura sobre el hecho de que el cambio climático impactará de forma desproporcionada grupos ya sobrecargados (declaración 1), como se ha evaluado recientemente en el exhaustivo Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Grupo de Trabajo II⁶⁹. En segundo lugar, múltiples estudios con un alto grado de acuerdo entre ellos han documentado la falta de dinámica social y política en los modelos de sistemas complejos y las limitaciones derivadas del aislamiento sectorial, regional y jurisdiccional y disciplinarios de las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo (declaración 2)^{3,86,87,88,89,90,242}. Algunos análisis de sistemas complejos han dado los primeros pasos en la incorporación de dinámicas sociales y políticas (p. ej., Moore *et al.* 2022⁸⁸), pero se trata de esfuerzos incipientes, por lo que la declaración 2 se presenta con *alta confianza*. En tercer lugar, se carece de datos sobre cómo los sistemas complejos afectan comunidades de primera línea para las poblaciones de difícil acceso, y esto puede ocasionar impactos climáticos desproporcionados (declaración 3)^{97,99}. Esta declaración se hace con *confianza alta* dada la amplia base de evidencia sobre las desigualdades en la disponibilidad y la calidad de los datos en las comunidades y el enfoque de la literatura sobre los lugares ricos en datos (p. ej., Friel *et al.* 2011⁹⁸; Pörtner *et al.* 2022⁶⁹; Reed *et al.* 2022³).

Mensaje clave 18.3

La colaboración entre diversos poseedores de conocimientos mejora las respuestas a los complejos retos climáticos

Descripción de la base de evidencia

El mensaje clave 18.3 y el texto correspondiente proceden de una revisión de diversos tipos de literatura sobre el conocimiento de los sistemas complejos, de varias reuniones del equipo de autores y de deliberaciones sobre documentos escritos, así como de las conclusiones del taller de participación pública. La redacción también se coordinó con los autores de otros mensajes clave, especialmente el 18.2 y el 18.4. La literatura revisada para este mensaje clave abarca varios ámbitos temáticos. Los autores revisaron la literatura que describe los marcos integrados y la modelación de sistemas complejos^{3,123,126,127,131,136}, así como las características del conocimiento procesable o utilizable^{115,116,120,153,154}. Los autores también se centraron en la literatura que muestra el papel del conocimiento cualitativo, como las narrativas, en la gestión de sistemas complejos^{128,129,130}. En cuanto a los procesos de producción de conocimientos, el equipo revisó los trabajos más recientes sobre coproducción de conocimientos y enfoques de investigación colaborativa, al igual que la investigación interdisciplinaria y transdisciplinaria^{115,124,147,259}. Los autores también revisaron la literatura y los estudios de casos sobre los conocimientos tradicionales e indígenas y su papel en los sistemas complejos, así como el papel de la ciencia ciudadana^{141,142,143,144}. También se revisaron estudios sobre modelación participativa^{21,140,156,157}, así como herramientas colaborativas de respaldo para la toma de decisiones para sistemas complejos, como la toma de decisiones en condiciones de gran incertidumbre y la planificación de escenarios. Por último, también se revisó la investigación sobre servicios climáticos y agencias que representan a las comunidades científica y política.

El Recuadro 18.3 se centra en la compleja gobernanza costera, a partir de las evaluaciones de las respuestas climáticas en regiones metropolitanas como la zona de la Bahía de San Francisco, el condado de Los Ángeles, el sureste de Florida y el área metropolitana de Nueva York; aquí se analiza un ejemplo específico del Área de Acción para la Adaptación de Little River. Múltiples estudios recientes han examinado los procesos y asociaciones entre la ciencia, la política y la práctica, junto con los sistemas de gobernanza en evolución, inherentes a las complejas respuestas climáticas costeras (p. ej., Treuer *et al.* 2017²⁶⁰; Kim 2019²⁶¹; Solecki *et al.* 2021²⁶²; Tedesco *et al.* 2021¹⁷⁹; Troxler *et al.* 2021¹⁷⁸; Lubell y Robbins 2022²⁶³). Se facilitan referencias directas a las estrategias regionales pertinentes y a los foros de apoyo a la toma de decisiones (p. ej., Condado de Miami-Dade 2021¹⁷⁶; Condado de Miami-Dade 2021¹⁷⁵; Distrito de Gestión Hídrica del Sur de Florida [South Florida Water Management District, SFWMD] 2021¹⁷⁷).

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

A pesar de la promesa y el potencial de los procesos colaborativos de producción de conocimiento y de las herramientas colaborativas de toma de decisiones, se carece en gran medida de monitoreo y evaluación a largo plazo de estos procesos y herramientas; por lo tanto, no se comprenden bien el impacto y la efectividad a largo plazo de estos conocimientos generados de forma colaborativa para responder a riesgos climáticos complejos en sistemas complejos^{147,151,172,264}. Además, no se conoce bien el impacto de los conocimientos procesables generados de forma colaborativa en la gestión a largo plazo de sistemas complejos impactados por el clima, especialmente en lo que se refiere a la justicia procedimental o distributiva de los resultados²⁶⁵.

Descripción de confianza y probabilidad

Existe un alto grado de acuerdo en la literatura, tanto en estudios teóricos^{120,124,127} como empíricos^{117,123,131,263}, en que las respuestas efectivas a los sistemas complejos se benefician de marcos integrados que reúnen conocimientos diversos y específicos del contexto. Por lo tanto, existe *confianza alta* en la primera declaración

de este mensaje clave. Cada vez más estudios proporcionan evidencia de que los enfoques participativos y colaborativos que reúnen a diversos actores han mejorado la capacidad de actuación de los conocimientos para gestionar sistemas complejos^{150,151,152}, pero se necesita más evidencia sobre la medida en que este conocimiento procesable se ha utilizado realmente en la toma de decisiones en sistemas complejos^{266,267,268}. Por lo tanto, existe *confianza media* en la declaración. Aunque la literatura teórica sugiere que los enfoques colaborativos ayudan a navegar por las perspectivas contrapuestas de los diferentes actores y las incertidumbres del conocimiento^{43,117,119}, hay muy pocos estudios que hayan evaluado hasta qué punto estos enfoques han conseguido mejorar las respuestas climáticas a largo plazo^{171,267,269,270}. Por lo tanto, existe *confianza baja* en la tercera declaración.

Mensaje clave 18.4

Están surgiendo nuevos enfoques de gobernanza, pero persisten brechas en la práctica y la evidencia

Descripción de la base de evidencia

El subgrupo de autores del mensaje clave 18.4 se basó en un conjunto multidisciplinar de productos de investigación en la intersección de la gobernanza, la planificación regional, la teoría de sistemas y la autoridad jurisdiccional en relación con la planificación, las acciones, los productos y los resultados tanto de la mitigación climática como de la planificación de adaptación²⁰². El subgrupo identificó los principales productos de investigación revisados por expertos con base en los temas categorizados por la experiencia de los miembros del subgrupo, así como en los temas que surgieron en el taller de participación pública; esencialmente, la identificación de fuentes fue amplia, pero los temas a partir de los cuales se identificaron y clasificaron las fuentes fueron necesariamente limitados. Además, el subgrupo trató de identificar documentación sobre los éxitos y fracasos de la gobernanza alternativa en relación con la mitigación y adaptación climática, con el fin de ampliar el conjunto de fuentes a otras disciplinas que quizás no utilicen explícitamente términos de gobernanza¹⁹¹. Para cada uno de los temas identificados existe una vasta literatura de la que extraer conclusiones. La identificación de estos temas fue un proceso sencillo y el desacuerdo sobre los temas o las fuentes fue mínimo.

En ligero contraste, se produjo un importante debate sobre el nivel de confianza en torno a la síntesis de las conclusiones de las fuentes, dada su amplitud de investigación empírica y rigor metodológico. La mayoría de las fuentes probatorias se basan en estudios de casos singulares de gobernanza (o con menos frecuencia, en unos pocos casos) o en la exploración teórica de forma cualitativa o cuantitativa^{195,199}. Son menos los estudios que incluyen muestras de casos de gobernanza lo suficientemente poderosos —o que emplean grupos de comparación de cualquier diseño— como para producir resultados concluyentes y generalizables^{203,221}. En consecuencia, las evaluaciones de las incertidumbres y la confianza se basan en gran medida en el rigor variable de estas fuentes.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

La gobernanza, por definición, varía según el entorno geográfico, social y político, entre otros muchos factores contextuales. El primer factor —la geografía— plantea un reto particular para el desarrollo de evidencia concluyente de las acciones y efectos de la gobernanza¹⁸⁸. Esencialmente, cada lugar tiene un marco de gobernanza único¹¹⁷. Aunque se han realizado estudios cualitativos y cuantitativos rigurosos sobre las intervenciones de gobernanza y sus resultados en lugares específicos, el tamaño de las muestras de las monografías individuales y la aplicación consistente de los términos en todas ellas solo han producido, por consiguiente, evidencia preliminar hasta la fecha. Al igual que ocurre con los estudios urbanos y la geografía

política, existen pocos estudios multisitio sobre la gobernanza de sistemas complejos con algún nivel de rigor casi experimental, o incluso evaluaciones básicas de resultados, que permitan dar respuestas que se puedan reproducir para la pregunta fundamental planteada en el taller de participación pública: ¿Qué es una “buena” gobernanza climática?

Descripción de confianza y probabilidad

Este reto metodológico fundamental, por tanto, prohíbe una evaluación de *confianza alta* para todos los temas de gobernanza de sistemas complejos, con la única excepción de su incapacidad actual para producir resultados positivos consistentes. Se necesitan más estudios con muestras de mayor tamaño y términos consistentes de los marcos de gobernanza —incluidos sus insumos, actividades, productos y resultados— para evaluar mayores niveles de confianza. Por lo tanto, las declaraciones del mensaje clave relativas a la evaluación/aprendizaje, la efectividad y la posibilidad de reproducción se hacen *con confianza baja y media*. La cantidad de evidencia sobre la implementación y los resultados de la gobernanza climática es demasiado pequeña para afirmar que sus conclusiones son válidas y reproducibles externamente²⁰³. Sin embargo, la literatura sobre políticas y gobernanza en otros ámbitos más allá de la mitigación y la adaptación climática, sobre lo que se han realizado estudios más amplios, sugiere que el éxito de las iniciativas piloto de gobernanza puede no ser insignificante, lo que implica una mayor confianza en que la implementación de los actuales proyectos piloto sobre el clima también pueda arrojar resultados positivos^{200,224}.

Referencias

1. Helbing, D., 2013: Globally networked risks and how to respond. *Nature*, **497** (7447), 51–59. <https://doi.org/10.1038/nature12047>
2. Schweikert, A.E. and M.R. Deinert, 2021: Vulnerability and resilience of power systems infrastructure to natural hazards and climate change. *WIREs Climate Change*, **12** (5), e724. <https://doi.org/10.1002/wcc.724>
3. Reed, P.M., A. Hadjimichael, R.H. Moss, E. Monier, S. Alba, C. Brelsford, C. Burleyson, S. Cohen, A. Dyreson, D. Gold, R. Gupta, K. Keller, M. Konar, J. Macknick, J. Morris, V. Srikrishnan, N. Voisin, and J. Yoon, 2022: MultiSector Dynamics: Scientific Challenges and a Research Vision for 2030. U.S. Department of Energy, Office of Science. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6144309>
4. Rinaldi, S.M., J.P. Peerenboom, and T.K. Kelly, 2001: Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, **21** (6), 11–25. <https://doi.org/10.1109/37.969131>
5. Simpson, N.P., K.J. Mach, A. Constable, J. Hess, R. Hogarth, M. Howden, J. Lawrence, R.J. Lempert, V. Muccione, B. Mackey, M.G. New, B. O'Neill, F.E. Otto, H.-O. Pörtner, A. Reisinger, D. Roberts, D.N. Schmidt, S. Seneviratne, and C.H. Trisos, 2021: A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth*, **4** (4), 489–501. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005>
6. Vespignani, A., 2010: The fragility of interdependency. *Nature*, **464** (7291), 984–985. <https://doi.org/10.1038/464984a>
7. Lenton, T.M., H. Held, E. Kriegler, J.W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf, and H.J. Schellnhuber, 2008: Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **105** (6), 1786–1793. <https://doi.org/10.1073/pnas.0705414105>
8. Glazer, Y.R., D.M. Tremaine, J.L. Banner, M. Cook, R.E. Mace, J. Nielsen-Gammon, E. Grubert, K. Kramer, A.M.K. Stoner, B.M. Wyatt, A. Mayer, T. Beach, R. Correll, and M.E. Webber, 2021: Winter storm Uri: A test of Texas' water infrastructure and water resource resilience to extreme winter weather events. *Journal of Extreme Events*, **08** (04), 2150022. <https://doi.org/10.1142/s2345737621500226>
9. Cohen, J., L. Agel, M. Barlow, C.I. Garfinkel, and I. White, 2021: Linking Arctic variability and change with extreme winter weather in the United States. *Science*, **373** (6559), 1116–1121. <https://doi.org/10.1126/science.abi9167>
10. Overpeck, J.T. and B. Udall, 2020: Climate change and the aridification of North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **117** (22), 11856–11858. <https://doi.org/10.1073/pnas.2006323117>
11. Wieder, W.R., D. Kennedy, F. Lehner, K.N. Musselman, K.B. Rodgers, N. Rosenbloom, I.R. Simpson, and R. Yamaguchi, 2022: Pervasive alterations to snow-dominated ecosystem functions under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **119** (30), e2202393119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2202393119>
12. Bai, X., R.J. Dawson, D. Ürge-Vorsatz, G.C. Delgado, A.S. Barau, S. Dhakal, D. Dodman, L. Leonardsen, V. Masson-Delmotte, D.C. Roberts, and S. Schultz, 2018: Six research priorities for cities and climate change. *Nature*, **555**, 23–25. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-02409-z>
13. Berrang-Ford, L., A.R. Siders, A. Lesnikowski, A.P. Fischer, M.W. Callaghan, et al., 2021: A systematic global stocktake of evidence on human adaptation to climate change. *Nature Climate Change*, **11** (11), 989–1000. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01170-y>
14. Brelsford, C., M. Dumas, E. Schlager, B.J. Dermody, M. Aiuvalasit, M.R. Allen-Dumas, J. Beecher, U. Bhatia, P. D'Odorico, M. Garcia, P. Gober, D. Groenfeldt, S. Lansing, K. Madani, L.E. Méndez-Barrientos, E. Mondino, M.F. Müller, F.C. O'Donnell, P.M. Owuor, J. Rising, M.R. Sanderson, F.A.A. Souza, and S.C. Zipper, 2020: Developing a sustainability science approach for water systems. *Ecology and Society*, **25** (2), 23. <https://doi.org/10.5751/es-11515-250223>
15. Di Baldassarre, G., N. Wanders, A. AghaKouchak, L. Kuil, S. Rangelcroft, T.I.E. Veldkamp, M. Garcia, P.R. van Oel, K. Breinl, and A.F. Van Loon, 2018: Water shortages worsened by reservoir effects. *Nature Sustainability*, **1** (11), 617–622. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0159-0>

16. Mora, C., D. Spirandelli, E.C. Franklin, J. Lynham, M.B. Kantar, W. Miles, C.Z. Smith, K. Freel, J. Moy, L.V. Louis, E.W. Barba, K. Bettinger, A.G. Frazier, J.F. Colburn IX, N. Hanasaki, E. Hawkins, Y. Hirabayashi, W. Knorr, C.M. Little, K. Emanuel, J. Sheffield, J.A. Patz, and C.L. Hunter, 2018: Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions. *Nature Climate Change*, **8** (12), 1062–1071. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0315-6>
17. Müller, M.F. and M.C. Levy, 2019: Complementary vantage points: Integrating hydrology and economics for Sociohydrologic knowledge generation. *Water Resources Research*, **55** (4), 2549–2571. <https://doi.org/10.1029/2019wr024786>
18. Shi, L. and S. Moser, 2021: Transformative climate adaptation in the United States: Trends and prospects. *Science*, **372** (6549), 8054. <https://doi.org/10.1126/science.abc8054>
19. Andersen, A.D., M. Steen, T. Mäkitie, J. Hanson, T.M. Thune, and B. Soppe, 2020: The role of inter-sectoral dynamics in sustainability transitions: A comment on the transitions research agenda. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, **34**, 348–351. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.11.009>
20. Aven, T. and E. Zio, 2021: Globalization and global risk: How risk analysis needs to be enhanced to be effective in confronting current threats. *Reliability Engineering & System Safety*, **205**, 107270. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107270>
21. Elsawah, S., T. Filatova, A.J. Jakeman, A. Kettner, M. Zellner, I. Athanasiadis, S. Hamilton, R. Axtell, D. Brown, J. Gilligan, M. Janssen, D. Robinson, J. Rozenberg, I. Ullah, and S. Lade, 2020: Eight grand challenges in socio-environmental systems modeling. *Socio-Environmental Systems Modelling*, **2**, 16226–16226. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2020a16226>
22. Hino, M. and E. Nance, 2021: Five ways to ensure flood-risk research helps the most vulnerable. *Nature*, **595**, 27–29. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-01750-0>
23. Levi, P.J., S.D. Kurland, M. Carbajales-Dale, J.P. Weyant, A.R. Brandt, and S.M. Benson, 2019: Macro-energy systems: Toward a new discipline. *Joule*, **3** (10), 2282–2286. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.07.017>
24. Levin, S.A., J.M. Anderies, N. Adger, S. Barrett, E.M. Bennett, J.C. Cardenas, S.R. Carpenter, A.-S. Crépin, P. Ehrlich, J. Fischer, C. Folke, N. Kautsky, C. Kling, K. Nyborg, S. Polasky, M. Scheffer, K. Segerson, J. Shogren, J. van den Bergh, B. Walker, E.U. Weber, and J. Wilen, 2021: Governance in the face of extreme events: Lessons from evolutionary processes for structuring interventions, and the need to go beyond. *Ecosystems*, **25**, 697–711. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00680-2>
25. Markolf, S.A., M.V. Chester, D.A. Eisenberg, D.M. Iwaniec, C.I. Davidson, R. Zimmerman, T.R. Miller, B.L. Ruddell, and H. Chang, 2018: Interdependent infrastructure as linked social, ecological, and technological systems (SETs) to address lock-in and enhance resilience. *Earth's Future*, **6** (12), 1638–1659. <https://doi.org/10.1029/2018ef000926>
26. Szostak, R., 2017: Stability, instability, and interdisciplinarity. *Issues in Interdisciplinary Studies*, **35**, 65–87. <https://eric.ed.gov/?id=ej1193677>
27. de Vos, L., H. Biemans, J.C. Doelman, E. Stehfest, and D.P. van Vuuren, 2021: Trade-offs between water needs for food, utilities, and the environment—A nexus quantification at different scales. *Environmental Research Letters*, **16** (11), 115003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2b5e>
28. Drakes, O. and E. Tate, 2022: Social vulnerability in a multi-hazard context: A systematic review. *Environmental Research Letters*, **17**, 033001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5140>
29. Zscheischler, J., S. Westra, B.J.J.M. van den Hurk, S.I. Seneviratne, P.J. Ward, A. Pitman, A. AghaKouchak, D.N. Bresch, M. Leonard, T. Wahl, and X. Zhang, 2018: Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, **8** (6), 469–477. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>
30. Dearing, J.A., R. Wang, K. Zhang, J.G. Dyke, H. Haberl, M.S. Hossain, P.G. Langdon, T.M. Lenton, K. Raworth, S. Brown, J. Carstensen, M.J. Cole, S.E. Cornell, T.P. Dawson, C.P. Doncaster, F. Eigenbrod, M. Flörke, E. Jeffers, A.W. Mackay, B. Nykvist, and G.M. Poppy, 2014: Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems. *Global Environmental Change*, **28**, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.012>
31. Eriksen, S., E.L.F. Schipper, M. Scoville-Simonds, K. Vincent, H.N. Adam, N. Brooks, B. Harding, D. Khatri, L. Lenaerts, D. Liverman, M. Mills-Novoa, M. Mosberg, S. Movik, B. Muok, A. Nightingale, H. Ojha, L. Sygna, M. Taylor, C. Vogel, and J.J. West, 2021: Adaptation interventions and their effect on vulnerability in developing countries: Help, hindrance or irrelevance? *World Development*, **141**, 105383. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105383>

32. Hallegatte, S. and N.L. Engle, 2019: The search for the perfect indicator: Reflections on monitoring and evaluation of resilience for improved climate risk management. *Climate Risk Management*, **23**, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.12.001>
33. Hallegatte, S., J. Rentschler, and J. Rozenberg, 2019: *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity*. World Bank Group, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/31805>
34. Lempert, R.J., 2021: Measuring global climate risk. *Nature Climate Change*, **11** (10), 805–806. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01165-9>
35. de Ruiter, M.C. and A.F. van Loon, 2022: The challenges of dynamic vulnerability and how to assess it. *iScience*, **25** (8). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104720>
36. Dolan, F., J. Lamontagne, R. Link, M. Hejazi, P. Reed, and J. Edmonds, 2021: Evaluating the economic impact of water scarcity in a changing world. *Nature Communications*, **12** (1), 1915. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22194-0>
37. Moallemi, E.A. and F.J. de Haan, 2019: *Modelling Transitions: Virtues, Vices, Visions of the Future*, 1st ed. Routledge, London, UK, 276 pp. <https://doi.org/10.4324/9780429056574>
38. Siders, A.R., M. Hino, and K.J. Mach, 2019: The case for strategic and managed climate retreat. *Science*, **365** (6455), 761. <https://doi.org/10.1126/science.aax8346>
39. Trutnevyte, E., L.F. Hirt, N. Bauer, A. Cherp, A. Hawkes, O.Y. Edelenbosch, S. Pedde, and D.P. Vuuren, 2019: Societal transformations in models for energy and climate policy: The ambitious next step. *One Earth*, **1** (4), 423–433. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.12.002>
40. Wible, B., 2021: Out of harm's way. *Science*, **372** (6548), 1274–1275. <https://doi.org/10.1126/science.abi9209>
41. Avelino, F., 2021: Theories of power and social change. Power contestations and their implications for research on social change and innovation. *Journal of Political Power*, **14** (3), 425–448. <https://doi.org/10.1080/2158379x.2021.1875307>
42. Jafino, B.A., J.H. Kwakkel, and B. Taebi, 2021: Enabling assessment of distributive justice through models for climate change planning: A review of recent advances and a research agenda. *WIREs Climate Change*, **12** (4), e721. <https://doi.org/10.1002/wcc.721>
43. Wyborn, C., A. Datta, J. Montana, M. Ryan, P. Leith, B. Chaffin, C. Miller, and L. van Kerkhoff, 2019: Co-producing sustainability: Reordering the governance of science, policy, and practice. *Annual Review of Environment and Resources*, **44** (1), 319–346. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033103>
44. Filatova, T., J.G. Polhill, and S. van Ewijk, 2016: Regime shifts in coupled socio-environmental systems: Review of modelling challenges and approaches. *Environmental Modelling & Software*, **75**, 333–347. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.04.003>
45. Gold, D.F., P.M. Reed, D.E. Gorelick, and G.W. Characklis, 2022: Power and pathways: Exploring robustness, cooperative stability, and power relationships in regional infrastructure investment and water supply management portfolio pathways. *Earth's Future*, **10** (2), e2021EF002472. <https://doi.org/10.1029/2021ef002472>
46. Iwanaga, T., H.-H. Wang, S.H. Hamilton, V. Grimm, T.E. Koralewski, A. Salado, S. Elsayah, S. Razavi, J. Yang, P. Glynn, J. Badham, A. Voinov, M. Chen, W.E. Grant, T.R. Peterson, K. Frank, G. Shenk, C.M. Barton, A.J. Jakeman, and J.C. Little, 2021: Socio-technical scales in socio-environmental modeling: Managing a system-of-systems modeling approach. *Environmental Modelling & Software*, **135**, 104885. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104885>
47. Lamontagne, J.R., P.M. Reed, R. Link, K.V. Calvin, L.E. Clarke, and J.A. Edmonds, 2018: Large ensemble analytic framework for consequence-driven discovery of climate change scenarios. *Earth's Future*, **6** (3), 488–504. <https://doi.org/10.1002/2017ef000701>
48. Kasprzyk, J.R., S. Nataraj, P.M. Reed, and R.J. Lempert, 2013: Many objective robust decision making for complex environmental systems undergoing change. *Environmental Modelling & Software*, **42**, 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.12.007>
49. Lempert, R.J., 2002: A new decision sciences for complex systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **99** (suppl_3), 7309–7313. <https://doi.org/10.1073/pnas.082081699>
50. Walker, W.E., M. Haasnoot, and J.H. Kwakkel, 2013: Adapt or perish: A review of planning approaches for adaptation under deep uncertainty. *Sustainability*, **5** (3), 955–979. <https://doi.org/10.3390/su5030955>

51. Walker, W.E., P. Harremoës, J. Rotmans, J.P. van der Sluijs, M.B. van Asselt, P. Janssen, and M.P. Krayen von Krauss, 2003: Defining uncertainty: A conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integrated Assessment*, **4** (1), 5–17. <https://doi.org/10.1076/iaij.4.1.5.16466>
52. Bankes, S., 1993: Exploratory modeling for policy analysis. *Operations Research*, **41** (3), 435–449. <https://doi.org/10.1287/opre.41.3.435>
53. Marchau, V.A.W.J., W.E. Walker, P.J.T.M. Bloemen, and S.W. Popper, 2019: *Decision Making Under Deep Uncertainty*. Springer, Cham, Switzerland, 405 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2>
54. Moallemi, E.A., J. Kwakkel, F.J. de Haan, and B.A. Bryan, 2020: Exploratory modeling for analyzing coupled human–natural systems under uncertainty. *Global Environmental Change*, **65**, 102186. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102186>
55. Bryant, B.P. and R.J. Lempert, 2010: Thinking inside the box: A participatory, computer-assisted approach to scenario discovery. *Technological Forecasting and Social Change*, **77** (1), 34–49. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.08.002>
56. Hadjimichael, A., J. Quinn, E. Wilson, P. Reed, L. Basdekas, D. Yates, and M. Garrison, 2020: Defining robustness, vulnerabilities, and consequential scenarios for diverse stakeholder interests in institutionally complex river basins. *Earth's Future*, **8** (7), e2020EF001503. <https://doi.org/10.1029/2020ef001503>
57. Popper, S.W., 2019: Robust decision making and scenario discovery in the absence of formal models. *Futures & Foresight Science*, **1** (3–4), e22. <https://doi.org/10.1002/ffo2.22>
58. Kopp, R.E., E.A. Gilmore, C.M. Little, J. Lorenzo-Trueba, V.C. Ramenzoni, and W.V. Sweet, 2019: Usable science for managing the risks of sea-level rise. *Earth's Future*, **7** (12), 1235–1269. <https://doi.org/10.1029/2018ef001145>
59. Brelsford, C., A. Jones, M. Allen-Dumas, M. Bukovsky, I. Dronova, T. Hong, D. Iwaniec, S. Markolf, M. Newcomer, P. Nico, D. Rastogi, S. Reid, K. Sparks, J. Tucillo, and Z. Zheng, 2021: Workshop Report: Multi-Sectoral Urban Interactions: Fundamental Science Needs to Inform Pathways to More Resilient Communities in a Changing Climate. MultiSector Dynamics Community of Practice. <https://multisectordynamics.org/working-groups/urban/workshop-report-multi-sectoral-urban-interactions/>
60. Mytton, D., 2021: Data centre water consumption. *npj Clean Water*, **4** (1), 11. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00101-w>
61. Masanet, E., A. Shehabi, N. Lei, S. Smith, and J. Koomey, 2020: Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, **367** (6481), 984–986. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>
62. Siddik, M.A.B., A. Shehabi, and L. Marston, 2021: The environmental footprint of data centers in the United States. *Environmental Research Letters*, **16** (6), 064017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfba1>
63. Whitehead, B., D. Andrews, A. Shah, and G. Maidment, 2014: Assessing the environmental impact of data centres part 1: Background, energy use and metrics. *Building and Environment*, **82**, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.021>
64. Kenney, D.S., 2005: Prior appropriation and water rights reform in the western United States. In: *Water Rights Reform: Lessons for Institutional Design*. Bruns, B.R., C. Ringler, and R.S. Meinzen-Dick, Eds. International Food Policy Research Institute, Washington, DC. <https://doi.org/10.2499/0896297497.ch7>
65. Anguelovski, I., L. Shi, E. Chu, D. Gallagher, K. Goh, Z. Lamb, K. Reeve, and H. Teicher, 2016: Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: Critical perspectives from the global north and south. *Journal of Planning Education and Research*, **36** (3), 333–348. <https://doi.org/10.1177/0739456x16645166>
66. Chen, T.H.Y. and B. Lee, 2022: Income-based inequality in post-disaster migration is lower in high resilience areas: Evidence from U.S. internal migration. *Environmental Research Letters*, **17** (3), 034043. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5692>
67. Gonzalez, C., 2021: Racial capitalism, climate justice, and climate displacement. *Oñati Socio-Legal Series*, **11** (1), 108–147. <https://doi.org/10.35295/osls.iisl/0000-0000-0000-1137>
68. Knighton, J., K. Hondula, C. Sharkus, C. Guzman, and R. Elliott, 2021: Flood risk behaviors of United States riverine metropolitan areas are driven by local hydrology and shaped by race. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **118** (13), e2016839118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2016839118>

69. Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, H. Adams, I. Adelekan, C. Adler, et al., 2022: Technical summary. 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, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, and A. Okem, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 37–118. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>
70. Prins, S.J. and B. Story, 2020: Connecting the dots between mass incarceration, health inequity, and climate change. *American Journal of Public Health*, **110** (S1), S35–S36. <https://doi.org/10.2105/ajph.2019.305470>
71. Wing, O.E.J., W. Lehman, P.D. Bates, C.C. Sampson, N. Quinn, A.M. Smith, J.C. Neal, J.R. Porter, and C. Kousky, 2022: Inequitable patterns of US flood risk in the Anthropocene. *Nature Climate Change*, **12** (2), 156–162. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01265-6>
72. Amorim-Maia, A.T., I. Anguelovski, E. Chu, and J. Connolly, 2022: Intersectional climate justice: A conceptual pathway for bridging adaptation planning, transformative action, and social equity. *Urban Climate*, **41**, 101053. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101053>
73. Anguelovski, I., A.L. Brand, J.J.T. Connolly, E. Corbera, P. Kotsila, J. Steil, M. Garcia-Lamarca, M. Triguero-Mas, H. Cole, F. Baró, J. Langemeyer, C.P. del Pulgar, G. Shokry, F. Sekulova, and L. Argüelles Ramos, 2020: Expanding the boundaries of justice in urban greening scholarship: Toward an emancipatory, antisubordination, intersectional, and relational approach. *Annals of the American Association of Geographers*, **110** (6), 1743–1769. <https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1740579>
74. Kuran, C.H.A., C. Morsut, B.I. Kruke, M. Krüger, L. Segnestam, K. Orru, T.O. Nævestad, M. Airola, J. Keränen, F. Gabel, S. Hansson, and S. Torpan, 2020: Vulnerability and vulnerable groups from an intersectionality perspective. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **50**, 101826. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101826>
75. Pulido, L., 2017: Geographies of race and ethnicity II: Environmental racism, racial capitalism and state-sanctioned violence. *Progress in Human Geography*, **41** (4), 524–533. <https://doi.org/10.1177/0309132516646495>
76. Stone, K., N. Blinn, and R. Spencer, 2022: Mental health impacts of climate change on women: A scoping review. *Current Environmental Health Reports*, **9** (2), 228–243. <https://doi.org/10.1007/s40572-022-00346-8>
77. Bigger, P. and N. Millington, 2020: Getting soaked? Climate crisis, adaptation finance, and racialized austerity. *Environment and Planning E: Nature and Space*, **3** (3), 601–623. <https://doi.org/10.1177/2514848619876539>
78. Huang, X. and C. Wang, 2020: Estimates of exposure to the 100-year floods in the conterminous United States using national building footprints. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **50**, 101731. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101731>
79. Tate, E., M.A. Rahman, C.T. Emrich, and C.C. Sampson, 2021: Flood exposure and social vulnerability in the United States. *Natural Hazards*, **106** (1), 435–457. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04470-2>
80. USGCRP, 2018: *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, 1515 pp. <https://doi.org/10.7930/nca4.2018>
81. Siders, A.R. and J.M. Keenan, 2020: Variables shaping coastal adaptation decisions to armor, nourish, and retreat in North Carolina. *Ocean & Coastal Management*, **183**, 105023. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105023>
82. Barile, J.P., S.B. Binder, and C.K. Baker, 2020: Recovering after a natural disaster: Differences in quality of life across three communities after Hurricane Sandy. *Applied Research in Quality of Life*, **15** (4), 1151–1159. <https://doi.org/10.1007/s11482-019-09722-3>
83. Mach, K.J., C.M. Kraan, M. Hino, A.R. Siders, E.M. Johnston, and C.B. Field, 2019: Managed retreat through voluntary buyouts of flood-prone properties. *Science Advances*, **5** (10), 8995. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax8995>
84. McGhee, D.J., S.B. Binder, and E.A. Albright, 2020: First, do no harm: Evaluating the vulnerability reduction of post-disaster home buyout programs. *Natural Hazards Review*, **21** (1), 05019002. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1527-6996.0000337](https://doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000337)
85. Elliott, J.R., K. Loughran, and P.L. Brown, 2021: Divergent residential pathways from flood-prone areas: How neighborhood inequalities are shaping urban climate adaptation. *Social Problems*, spab059. <https://doi.org/10.1093/socpro/spab059>

86. Turek-Hankins, L.L., M. Hino, and K.J. Mach, 2020: Risk screening methods for extreme heat: Implications for equity-oriented adaptation. *PLoS ONE*, **15** (11), e0240841. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240841>
87. Beckage, B., K. Lacasse, J.M. Winter, L.J. Gross, N. Fefferman, F.M. Hoffman, S.S. Metcalf, T. Franck, E. Carr, A. Zia, and A. Kinzig, 2020: The Earth has humans, so why don't our climate models? *Climatic Change*, **163** (1), 181–188. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02897-x>
88. Moore, F.C., K. Lacasse, K.J. Mach, Y.A. Shin, L.J. Gross, and B. Beckage, 2022: Determinants of emissions pathways in the coupled climate–social system. *Nature*, **603** (7899), 103–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04423-8>
89. Palmer, P.I. and M.J. Smith, 2014: Earth systems: Model human adaptation to climate change. *Nature*, **512** (7515), 365–366. <https://doi.org/10.1038/512365a>
90. Rising, J., M. Tedesco, F. Piontek, and D.A. Stainforth, 2022: The missing risks of climate change. *Nature*, **610** (7933), 643–651. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05243-6>
91. Cain, B.E., E.R. Gerber, and I. Hui, 2020: Getting bipartisan support for sea level rise adaptation policies. *Ocean & Coastal Management*, **197**, 105298. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105298>
92. Willison, C.E., P.M. Singer, M.S. Creary, S. Vaziri, J. Stott, and S.L. Greer, 2021: How do you solve a problem like Maria? The politics of disaster response in Puerto Rico, Florida and Texas. *World Medical & Health Policy*, **14** (3), 490–506. <https://doi.org/10.1002/wmh3.476>
93. Garrick, D., L. De Stefano, W. Yu, I. Jorgensen, E. O'Donnell, L. Turley, I. Aguilar-Barajas, X. Dai, R. de Souza Leão, B. Punjabi, B. Schreiner, J. Svensson, and C. Wight, 2019: Rural water for thirsty cities: A systematic review of water reallocation from rural to urban regions. *Environmental Research Letters*, **14** (4), 043003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0db7>
94. Kelly-Reif, K. and S. Wing, 2016: Urban-rural exploitation: An underappreciated dimension of environmental injustice. *Journal of Rural Studies*, **47**, 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.03.010>
95. Shi, L., S. Ahmad, P. Shukla, and S. Yupho, 2021: Shared injustice, splintered solidarity: Water governance across urban-rural divides. *Global Environmental Change*, **70**, 102354. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102354>
96. Bukvic, A. and J. Harrald, 2019: Rural versus urban perspective on coastal flooding: The insights from the U.S. Mid-Atlantic communities. *Climate Risk Management*, **23**, 7–18. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.10.004>
97. Hansen, G. and W. Cramer, 2015: Global distribution of observed climate change impacts. *Nature Climate Change*, **5** (3), 182–185. <https://doi.org/10.1038/nclimate2529>
98. Friel, S., D. Vlahov, and R.M. Buckley, 2011: No data, no problem, no action: Addressing urban health inequity in the 21st century. *Journal of Urban Health*, **88** (5), 858. <https://doi.org/10.1007/s11524-011-9616-z>
99. Bullard, R.D. and B. Wright, 2012: *The Wrong Complexion for Protection: How the Government Response to Disaster Endangers African American Communities*. New York University Press. <https://doi.org/10.18574/nyu/9780814799932.001.0001>
100. Andrews, C.J., 2020: Toward a research agenda on climate-related migration. *Journal of Industrial Ecology*, **24** (2), 331–341. <https://doi.org/10.1111/jiec.13005>
101. Sastry, N. and J. Gregory, 2014: The location of displaced New Orleans residents in the year after Hurricane Katrina. *Demography*, **51** (3), 753–775. <https://doi.org/10.1007/s13524-014-0284-y>
102. Beam, A., 2019: Chico didn't burn but Camp fire brought a new way of life. *The Press Democrat*, November 7, 2019. <https://www.pressdemocrat.com/article/news/chico-didnt-burn-but-camp-fire-brought-a-new-way-of-life/>
103. Spearing, L.A. and K.M. Faust, 2020: Cascading system impacts of the 2018 Camp Fire in California: The interdependent provision of infrastructure services to displaced populations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **50**, 101822. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101822>
104. Lefebvre, B., 2021: How 'climate migrants' are roiling American politics. *POLITICO*. <https://www.politico.com/news/magazine/2021/11/27/how-climate-migrants-are-roiling-american-politics-523295>
105. Rainey, J., 2019: Fire turns Chico, California, into a boomtown, but at what cost? *NBC News*, January 20, 2019. <https://www.nbcnews.com/news/us-news/fire-turns-chico-california-boomtown-what-cost-n960081>

106. Klein, N., 2021: A climate dystopia in Northern California. *The Intercept*, May 7 2021. <https://theintercept.com/2021/05/07/california-fires-chico-housing-real-estate/>
107. Wedgeworth, C., 2019: Hottest U.S. real estate market for December 2018 is Chico, CA. *Realtor*, January 9, 2019. <https://www.realtor.com/news/trends/december-2018-hottest-real-estate-markets-wildfire-boosts-chico/>
108. Curtis, K.J., J. DeWaard, E. Fussell, and R.A. Rosenfeld, 2020: Differential recovery migration across the rural-urban gradient: Minimal and short-term population gains for rural disaster-affected Gulf Coast counties. *Rural Sociology*, **85** (4), 856–898. <https://doi.org/10.1111/ruso.12305>
109. de Koning, K. and T. Filatova, 2020: Repetitive floods intensify outmigration and climate gentrification in coastal cities. *Environmental Research Letters*, **15** (3), 034008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6668>
110. Friedman, N., 2021: The pandemic ignited a housing boom—But it’s different from the last one. *The Wall Street Journal*, March 15, 2021. <https://www.wsj.com/articles/the-pandemic-ignited-a-housing-boombut-its-different-from-the-last-one-11615824558>
111. Patino, M., A. Kessler, S. Holder, J. Gu, and M. Rojasasakul, 2021: More Americans are leaving cities, but don’t call it an urban exodus. *Bloomberg*, April 26, 2021. <https://www.bloomberg.com/graphics/2021-citylab-how-americans-moved/>
112. Moser, S.C. and J.A.F. Hart, 2015: The long arm of climate change: Societal teleconnections and the future of climate change impacts studies. *Climatic Change*, **129** (1), 13–26. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1328-z>
113. Zoraghein, H. and B.C. O’Neill, 2020: A spatial population downscaling model for integrated human-environment analysis in the United States. *Demographic Research*, **43**, 1563–1606. <https://doi.org/10.4054/demres.2020.43.54>
114. Field, C.B., V.R. Barros, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, M. van Aalst, W.N. Adger, D.J. Arent, J. Barnett, R. Betts, T.E. Bilir, J. Birkmann, J. Carmin, D.D. Chadee, A.J. Challinor, M. Chatterjee, W. Cramer, D.J. Davidson, Y.O. Estrada, J.P. Gattuso, Y. Hijiko, O. Hoegh-Guldberg, H.Q. Huang, G.E. Insarov, R.N. Jones, R.S. Kovats, P.R. Lankao, J.N. Larsen, I.J. Losada, J.A. Marengo, R.F. McLean, L.O. Mearns, R. Mechler, J.F. Morton, I. Niang, T. Oki, J.M. Olwoch, M. Opondo, E.S. Poloczanska, H.O. Pörtner, M.H. Redsteer, A. Reisinger, A. Revi, D.N. Schmidt, M.R. Shaw, W. Solecki, D.A. Stone, J.M.R. Stone, K.M. Strzepek, A.G. Suarez, P. Tschakert, R. Valentini, S. Vicuña, A. Villamizar, K.E. Vincent, R. Warren, L.L. White, T.J. Wilbanks, P.P. Wong, and G.W. Yohe, 2014: Technical summary. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 35–94. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
115. Hulme, M., 2018: “Gaps” in climate change knowledge: Do they exist? Can they be filled? *Environmental Humanities*, **10** (1), 330–337. <https://doi.org/10.1215/22011919-4385599>
116. Stern, M.J., D.D. Briske, and A.M. Meadow, 2021: Opening learning spaces to create actionable knowledge for conservation. *Conservation Science and Practice*, **3** (5), e378. <https://doi.org/10.1111/csp2.378>
117. Lubell, M. and T.H. Morrison, 2021: Institutional navigation for polycentric sustainability governance. *Nature Sustainability*, **4** (8), 664–671. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00707-5>
118. Härtel, C.E.J. and G.I. Pearman, 2010: Understanding and responding to the climate change issue: Towards a whole-of-science research agenda. *Journal of Management & Organization*, **16** (1), 16–47. <https://doi.org/10.5172/jmo.16.1.16>
119. Lemos, M.C., H. Eakin, L. Dilling, and J. Worl, 2019: Social sciences, weather, and climate change. *Meteorological Monographs*, **59**, 26.1–26.25. <https://doi.org/10.1175/amsmonographs-d-18-0011.1>
120. Meinke, H., R. Nelson, P. Kokic, R. Stone, R. Selvaraju, and W. Baethgen, 2006: Actionable climate knowledge: From analysis to synthesis. *Climate Research*, **33**, 101–110. <https://doi.org/10.3354/cr033101>
121. Moss, R.H., J.A. Edmonds, K.A. Hibbard, M.R. Manning, S.K. Rose, D.P. van Vuuren, T.R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G.A. Meehl, J.F.B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S.J. Smith, R.J. Stouffer, A.M. Thomson, J.P. Weyant, and T.J. Wilbanks, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, **463**, 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
122. Tribbia, J. and S.C. Moser, 2008: More than information: What coastal managers need to plan for climate change. *Environmental Science & Policy*, **11** (4), 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.01.003>

123. Liu, J., T. Dietz, S.R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A.N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C.L. Redman, S.H. Schneider, and W.W. Taylor, 2007: Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, **317** (5844), 1513–1516. <https://doi.org/10.1126/science.1144004>
124. Polk, M., 2015: Transdisciplinary co-production: Designing and testing a transdisciplinary research framework for societal problem solving. *Futures*, **65**, 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.11.001>
125. Jagannathan, K., A.D. Jones, and I. Ray, 2021: The making of a metric: Co-producing decision-relevant climate science. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **102** (8), E1579–E1590. <https://doi.org/10.1175/bams-d-19-0296.1>
126. Miralles-Wilhelm, F., 2016: Development and application of integrative modeling tools in support of food-energy-water nexus planning—A research agenda. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, **6** (1), 3–10. <https://doi.org/10.1007/s13412-016-0361-1>
127. Moss, R.H., S. Avery, K. Baja, M. Burkett, A.M. Chischilly, J. Dell, P.A. Fleming, K. Geil, K. Jacobs, A. Jones, K. Knowlton, J. Koh, M.C. Lemos, J. Melillo, R. Pandya, T.C. Richmond, L. Scarlett, J. Snyder, M. Stults, A. Waple, J. Whitehead, D. Zarrilli, J. Fox, A. Ganguly, L. Joppa, S. Julius, P. Kirshen, R. Kreutter, A. McGovern, R. Meyer, J. Neumann, W. Solecki, J. Smith, P. Tissot, G. Yohe, and R. Zimmerman, 2019: A framework for sustained climate assessment in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **100** (5), 897–907. <https://doi.org/10.1175/bams-d-19-0130.1>
128. Biehl, P.F., S. Crate, M. Gardezi, L. Hamilton, S.L. Harlan, C. Hritz, B. Hubbell, T.A. Kohler, N. Peterson, and J. Silva, 2018: Innovative Tools, Methods, and Analysis: Social Science Perspectives on Climate Change, Part 3. U.S. Global Change Research Program, Social Science Coordinating Committee, Washington, DC. https://www.globalchange.gov/sites/globalchange/files/Methods_SSCC.pdf
129. Krauß, W. and S. Bremer, 2020: The role of place-based narratives of change in climate risk governance. *Climate Risk Management*, **28**, 100221. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.100221>
130. Moezzi, M., K.B. Janda, and S. Rotmann, 2017: Using stories, narratives, and storytelling in energy and climate change research. *Energy Research & Social Science*, **31**, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.06.034>
131. Calvin, K., P. Patel, L. Clarke, G. Asrar, B. Bond-Lamberty, R.Y. Cui, A. Di Vittorio, K. Dorheim, J. Edmonds, C. Hartin, M. Hejazi, R. Horowitz, G. Iyer, P. Kyle, S. Kim, R. Link, H. McJeon, S.J. Smith, A. Snyder, S. Waldhoff, and M. Wise, 2019: GCAM v5.1: Representing the linkages between energy, water, land, climate, and economic systems. *Geoscientific Model Development*, **12** (2), 677–698. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-677-2019>
132. Vogel, J., E. McNie, and D. Behar, 2016: Co-producing actionable science for water utilities. *Climate Services*, **2–3**, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.06.003>
133. Epstein, S.A., S.-M. Lee, A.S. Katzenstein, M. Carreras-Sospedra, X. Zhang, S.C. Farina, P. Vahmani, P.M. Fine, and G. Ban-Weiss, 2017: Air-quality implications of widespread adoption of cool roofs on ozone and particulate matter in southern California. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **114** (34), 8991–8996. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703560114>
134. Vahmani, P. and A.D. Jones, 2017: Water conservation benefits of urban heat mitigation. *Nature Communications*, **8** (1), 1072. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01346-1>
135. Vahmani, P., F. Sun, A. Hall, and G. Ban-Weiss, 2016: Investigating the climate impacts of urbanization and the potential for cool roofs to counter future climate change in Southern California. *Environmental Research Letters*, **11** (12), 124027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124027>
136. Szinai, J.K., R. Deshmukh, D.M. Kammen, and A.D. Jones, 2020: Evaluating cross-sectoral impacts of climate change and adaptations on the energy-water nexus: A framework and California case study. *Environmental Research Letters*, **15** (12), 124065. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc378>
137. Scanlon, B.R., B.L. Ruddell, P.M. Reed, R.I. Hook, C. Zheng, V.C. Tidwell, and S. Siebert, 2017: The food-energy-water nexus: Transforming science for society. *Water Resources Research*, **53** (5), 3550–3556. <https://doi.org/10.1002/2017wr020889>
138. Ford, J.D., N. King, E.K. Galappaththi, T. Pearce, G. McDowell, and S.L. Harper, 2020: The resilience of Indigenous peoples to environmental change. *One Earth*, **2** (6), 532–543. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.05.014>

139. Petzold, J., N. Andrews, J.D. Ford, C. Hedemann, and J.C. Postigo, 2020: Indigenous knowledge on climate change adaptation: A global evidence map of academic literature. *Environmental Research Letters*, **15** (11), 113007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb330>
140. Voinov, A. and E.B. Gaddis, 2017: Ch. 3. Values in participatory modeling: Theory and practice. In: *Environmental Modeling with Stakeholders: Theory, Methods, and Applications*. Gray, S., M. Paolisso, R. Jordan, and S. Gray, Eds. Springer, Cham, Switzerland, 47–63. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25053-3_3
141. Bremer, S., M.M. Haque, S.B. Aziz, and S. Kvamme, 2019: ‘My new routine’: Assessing the impact of citizen science on climate adaptation in Bangladesh. *Environmental Science & Policy*, **94**, 245–257. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.029>
142. Cooper, C.B., J. Shirk, and B. Zuckerberg, 2014: The invisible prevalence of citizen science in global research: Migratory birds and climate change. *PLoS ONE*, **9** (9), e106508. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106508>
143. Danielsen, F., K. Pirhofer-Walzl, T.P. Adrian, D.R. Kapijimpanga, N.D. Burgess, P.M. Jensen, R. Bonney, M. Funder, A. Landa, N. Levermann, and J. Madsen, 2014: Linking public participation in scientific research to the indicators and needs of international environmental agreements. *Conservation Letters*, **7** (1), 12–24. <https://doi.org/10.1111/conl.12024>
144. Rubio-Iglesias, J.M., T. Edovald, R. Grew, T. Kark, A.E. Kideys, T. Peltola, and H. Volten, 2020: Citizen science and environmental protection agencies: Engaging citizens to address key environmental challenges. *Frontiers in Climate*, **2**, 600998. <https://doi.org/10.3389/fclim.2020.600998>
145. Weatherhead, E., S. Gearheard, and R.G. Barry, 2010: Changes in weather persistence: Insight from Inuit knowledge. *Global Environmental Change*, **20** (3), 523–528. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.02.002>
146. Bremer, S. and S. Meisch, 2017: Co-production in climate change research: Reviewing different perspectives. *WIREs Climate Change*, **8** (6), e482. <https://doi.org/10.1002/wcc.482>
147. Lemos, M.C., J.C. Arnott, N.M. Ardoin, K. Baja, A.T. Bednarek, A. Dewulf, C. Fieseler, K.A. Goodrich, K. Jagannathan, N. Klenk, K.J. Mach, A.M. Meadow, R. Meyer, R. Moss, L. Nichols, K.D. Sjoström, M. Stults, E. Turnhout, C. Vaughan, G. Wong-Parodi, and C. Wyborn, 2018: To co-produce or not to co-produce. *Nature Sustainability*, **1** (12), 722–724. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0191-0>
148. Mach, K.J., M.C. Lemos, A.M. Meadow, C. Wyborn, N. Klenk, J.C. Arnott, N.M. Ardoin, C. Fieseler, R.H. Moss, L. Nichols, M. Stults, C. Vaughan, and G. Wong-Parodi, 2020: Actionable knowledge and the art of engagement. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **42**, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.01.002>
149. Miller, C.A. and C. Wyborn, 2020: Co-production in global sustainability: Histories and theories. *Environmental Science & Policy*, **113**, 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.01.016>
150. Chambers, J.M., C. Wyborn, M.E. Ryan, R.S. Reid, M. Riechers, A. Serban, N.J. Bennett, C. Cvitanovic, M.E. Fernández-Giménez, K.A. Galvin, B.E. Goldstein, N.L. Klenk, M. Tengö, R. Brennan, J.J. Cockburn, R. Hill, C. Munera, J.L. Nel, H. Österblom, A.T. Bednarek, E.M. Bennett, A. Brandeis, L. Charli-Joseph, P. Chatterton, K. Curran, P. Dumrongrojwatthana, A.P. Durán, S.J. Fada, J.-D. Gerber, J.M.H. Green, A.M. Guerrero, T. Haller, A.-I. Horcea-Milcu, B. Leimona, J. Montana, R. Rondeau, M. Spierenburg, P. Steyaert, J.G. Zaehring, R. Gruby, J. Hutton, and T. Pickering, 2021: Six modes of co-production for sustainability. *Nature Sustainability*, **4** (11), 983–996. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00755-x>
151. Jagannathan, K., J.C. Arnott, C. Wyborn, N. Klenk, K.J. Mach, R.H. Moss, and K.D. Sjoström, 2020: Great expectations? Reconciling the aspiration, outcome, and possibility of co-production. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **42**, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.11.010>
152. Owen, G., 2020: What makes climate change adaptation effective? A systematic review of the literature. *Global Environmental Change*, **62**, 102071. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102071>
153. Cash, D.W., W.C. Clark, F. Alcock, N.M. Dickson, N. Eckley, D.H. Guston, J. Jäger, and R.B. Mitchell, 2003: Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **100** (14), 8086–8091. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231332100>
154. Lemos, M.C., C.J. Kirchhoff, and V. Ramprasad, 2012: Narrowing the climate information usability gap. *Nature Climate Change*, **2** (11), 789–794. <https://doi.org/10.1038/nclimate1614>
155. Briley, L., D. Brown, and S.E. Kalafatis, 2015: Overcoming barriers during the co-production of climate information for decision-making. *Climate Risk Management*, **9**, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2015.04.004>

156. Voinov, A. and F. Bousquet, 2010: Modelling with stakeholders. *Environmental Modelling & Software*, **25** (11), 1268–1281. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007>
157. Voinov, A., N. Kolagani, M.K. McCall, P.D. Glynn, M.E. Kragt, F.O. Ostermann, S.A. Pierce, and P. Ramu, 2016: Modelling with stakeholders – Next generation. *Environmental Modelling & Software*, **77**, 196–220. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.11.016>
158. County of Los Angeles, 2021: LA County Climate Vulnerability Assessment. County of Los Angeles, LA County Chief Sustainability Office, Los Angeles, CA. <https://ceo.lacounty.gov/wp-content/uploads/2021/10/LA-County-Climate-Vulnerability-Assessment-1.pdf>
159. California Coastal Commission, 2020: California Coastal Commission Final Strategic Plan 2021–2025. State of California, California Natural Resources Agency, San Francisco, CA. https://documents.coastal.ca.gov/assets/strategicplan/ccc_strategic_plan_adopted_11.06.20_rev.pdf
160. Stanton, M.C.B. and K. Roelich, 2021: Decision making under deep uncertainties: A review of the applicability of methods in practice. *Technological Forecasting and Social Change*, **171**, 120939. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120939>
161. Werners, S.E., R.M. Wise, J.R.A. Butler, E. Totin, and K. Vincent, 2021: Adaptation pathways: A review of approaches and a learning framework. *Environmental Science & Policy*, **116**, 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.11.003>
162. Cobb, A.N. and J.L. Thompson, 2012: Climate change scenario planning: A model for the integration of science and management in environmental decision-making. *Environmental Modelling & Software*, **38**, 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.06.012>
163. Lawrence, D.J. and A.N. Runyon, 2019: Implications of Climate Change for the Water Supply of the Chisos Mountains Developed Area. Natural Resource Report NPS/NRSS/CCRP/NRR–2019/2045. U.S. Department of the Interior, National Park Service, Fort Collins, CO. <https://irma.nps.gov/datastore/downloadfile/631301>
164. Miller, B.W., G.W. Schuurman, A.J. Symstad, A.N. Runyon, and B.C. Robb, 2022: Conservation under uncertainty: Innovations in participatory climate change scenario planning from U.S. national parks. *Conservation Science and Practice*, **4** (3), 12633. <https://doi.org/10.1111/csp2.12633>
165. Runyon, A.N., A.R. Carlson, J. Gross, D.J. Lawrence, and G.W. Schuurman, 2020: Repeatable approaches to work with scientific uncertainty and advance climate change adaptation in US national parks. *Parks Stewardship Forum*, **36** (1), 98–104. <https://doi.org/10.5070/p536146402>
166. Bremer, S., A. Wardekker, S. Dessai, S. Sobolowski, R. Slaattelid, and J. van der Sluijs, 2019: Toward a multi-faceted conception of co-production of climate services. *Climate Services*, **13**, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.01.003>
167. Vaughan, C., L. Buja, A. Kruczkiewicz, and L. Goddard, 2016: Identifying research priorities to advance climate services. *Climate Services*, **4**, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.11.004>
168. Vaughan, C. and S. Dessai, 2014: Climate services for society: Origins, institutional arrangements, and design elements for an evaluation framework. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, **5** (5), 587–603. <https://doi.org/10.1002/wcc.290>
169. Goodrich, K.A., K.D. Sjoström, C. Vaughan, L. Nichols, A. Bednarek, and M.C. Lemos, 2020: Who are boundary spanners and how can we support them in making knowledge more actionable in sustainability fields? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **42**, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.01.001>
170. Lemos, M.C., C.J. Kirchhoff, S.E. Kalafatis, D. Scavia, and R.B. Rood, 2014: Moving climate information off the shelf: Boundary chains and the role of Risas as adaptive organizations. *Weather, Climate, and Society*, **6** (2), 273–285. <https://doi.org/10.1175/wcas-d-13-00044.1>
171. Meadow, A.M. and G. Owen, 2021: Planning and Evaluating the Societal Impacts of Climate Change Research Projects: A Guidebook for Natural and Physical Scientists Looking to Make a Difference. University of Arizona, Tucson, AZ. <https://doi.org/10.2458/10150.658313>
172. Wong-Parodi, G., K.J. Mach, K. Jagannathan, and K.D. Sjoström, 2020: Insights for developing effective decision support tools for environmental sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **42**, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.01.005>

173. Miami-Dade County, 2022: Little River Adaptation Action Area [Website]. <https://adaptation-action-area-in-little-river-mdc.hub.arcgis.com/>
174. Harrison, T.R., A. Clark, A. Clement, J. Lombard, G. Maranto, A. Parrish, S. Purkis, M. Reamer, O. Collins, C. Lewis, M. Cruz, and A. Solache, 2022: Advancing a hyperlocal approach to community engagement in climate adaptation: Results from a South Florida pilot study in two communities. *PLoS Climate*, **1** (6), e0000041. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000041>
175. Miami-Dade County, 2021: Climate Action Strategy [Webpage]. <https://www.miamidade.gov/global/economy/resilience/climate-strategy/home.page>
176. Miami-Dade County, 2021: Miami-Dade County Sea Level Rise Strategy. Miami-Dade County. <https://miami-dade-county-sea-level-rise-strategy-draft-mdc.hub.arcgis.com/>
177. SFWMD, 2021: SFWMD seeking public input on draft sea level rise and flood resiliency plan. South Florida Water Management District, West Palm Beach, FL, November 29, 2021. <https://www.sfwmd.gov/news-events/news/sfwmd-seeking-public-input-draft-sea-level-rise-and-flood-resiliency-plan>
178. Troxler, T.G., A.C. Clement, Y. Arditi-Rocha, G. Beesing, M. Bhat, J. Bolson, C. Cabán-Alemán, K. Castillo, O. Collins, M. Cruz, A. Dodd, S.D. Evans, A.L. Fleming, C. Genatios, J. Gilbert, A. Hernandez, C. Holder, M. Ilcheva, E. Kelly, and E. Wheaton, 2021: A system for resilience learning: Developing a community-driven, multi-sector research approach for greater preparedness and resilience to long-term climate stressors and extreme events in the Miami metropolitan region. *Journal of Extreme Events*, **08** (03), 2150019. <https://doi.org/10.1142/s2345737621500196>
179. Tedesco, M., C.G. Hultquist, and A. Sherbinin, 2021: A new dataset integrating public socioeconomic, physical risk, and housing data for climate justice metrics: A test-case study in Miami. *Environmental Justice*, **15** (3), 149–159. <https://doi.org/10.1089/env.2021.0059>
180. Miami-Dade County, 2022: Planning for Sea Level Rise in the Little River Adaptation Action Area. Resilient 305: Adaptation Action Area in Little River. Miami-Dade County, Office of Resilience. <https://adaptation-action-area-in-little-river-mdc.hub.arcgis.com/>
181. Southeast Florida Regional Climate Change Compact Sea Level Rise Work Group, 2020: Unified Sea Level Rise Projections: 2019 Update. Southeast Florida Regional Climate Change Compact, 36 pp. <https://southeastfloridaclimatecompact.org/unified-sea-level-rise-projections/>
182. Huitema, D., W.N. Adger, F. Berkhout, E. Massey, D. Mazmanian, S. Munaretto, R. Plummer, and C.C.J.A.M. Termeer, 2016: The governance of adaptation: Choices, reasons, and effects. Introduction to the Special Feature. *Ecology and Society*, **21** (3), 37. <https://doi.org/10.5751/es-08797-210337>
183. Reed, T., L.R. Mason, and C.C. Ekenga, 2020: Adapting to climate change in the Upper Mississippi River Basin: Exploring stakeholder perspectives on river system management and flood risk reduction. *Environmental Health Insights*, **14**, 1178630220984153. <https://doi.org/10.1177/1178630220984153>
184. Ulibarri, N. and N. Escobedo Garcia, 2020: Comparing complexity in watershed governance: The case of California. *Water*, **12** (3). <https://doi.org/10.3390/w12030766>
185. Moser, S.C., J.A. Ekstrom, J. Kim, and S. Heitsch, 2019: Adaptation finance archetypes: Local governments' persistent challenges of funding adaptation to climate change and ways to overcome them. *Ecology and Society*, **24** (2), 28. <https://doi.org/10.5751/es-10980-240228>
186. Fried, H., M. Hamilton, and R. Berardo, 2022: Closing integrative gaps in complex environmental governance systems. *Ecology and Society*, **27** (1). <https://doi.org/10.5751/es-12996-270115>
187. Munaretto, S., G. Siciliano, and M.E. Turvani, 2014: Integrating adaptive governance and participatory multicriteria methods: A framework for climate adaptation governance. *Ecology and Society*, **19** (2), 74. <https://doi.org/10.5751/es-06381-190274>
188. Bai, X., R.R.J. McAllister, R.M. Beaty, and B. Taylor, 2010: Urban policy and governance in a global environment: Complex systems, scale mismatches and public participation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **2** (3), 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.008>
189. Folke, C., T. Hahn, P. Olsson, and J. Norberg, 2005: Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, **30** (1), 441–473. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>

190. Hurlbert, M.A. and J. Gupta, 2019: An institutional analysis method for identifying policy instruments facilitating the adaptive governance of drought. *Environmental Science & Policy*, **93**, 221–231. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.09.017>
191. Wheeler, S.M., 2008: State and municipal climate change plans: The first generation. *Journal of the American Planning Association*, **74** (4), 481–496. <https://doi.org/10.1080/01944360802377973>
192. Brown, A., A. Dayal, and C. Rumbaitis Del Rio, 2012: From practice to theory: Emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience. *Environment and Urbanization*, **24** (2), 531–556. <https://doi.org/10.1177/0956247812456490>
193. Brown, A. and S. Kernaghan, 2011: Beyond climate-proofing: Taking an integrated approach to building climate resilience in Asian Cities. *Urbanisation and Global Environmental Change Viewpoints*, **6**, 4–7. <https://www.acccrn.net/resources/beyond-climate-proofing-taking-integrated-approach-building-climate-resilience-asian>
194. De Wandeler, K., 2014: Social resilience and urban growth: Exploring urban ‘strategies’ and ‘tactics’ in Bangkok and Colombo. In: *Proceedings of the International Conference on ‘Cities, People and Places’*. Colombo, Sri Lanka, 31 October–2 November 2014, 23 pp. https://uom.lk/sites/default/files/cfc/files/ICCPP-2014%20%20Programme%20%26%20Abstract_0.pdf
195. Ekstrom, J. and S. Moser, 2013: Ch. 6. Institutions as key element to successful climate adaptation processes: Results from the San Francisco Bay Area. In: *Successful Adaptation to Climate Change*, 1st ed. Routledge, London, UK, 97–113. <https://doi.org/10.4324/9780203593882>
196. Oberlack, C., 2017: Diagnosing institutional barriers and opportunities for adaptation to climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **22** (5), 805–838. <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9699-z>
197. Antrobus, D., 2011: Smart green cities: From modernization to resilience? *Urban Research & Practice*, **4** (2), 207–214. <https://doi.org/10.1080/17535069.2011.579777>
198. Arellano-Gonzalez, J., A. AghaKouchak, M.C. Levy, Y. Qin, J. Burney, S.J. Davis, and F.C. Moore, 2021: The adaptive benefits of agricultural water markets in California. *Environmental Research Letters*, **16** (4), 044036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abde5b>
199. Aylett, A., 2015: Institutionalizing the urban governance of climate change adaptation: Results of an international survey. *Urban Climate*, **14**, 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.06.005>
200. Bahadur, A.V. and T. Tanner, 2014: Policy climates and climate policies: Analysing the politics of building urban climate change resilience. *Urban Climate*, **7**, 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.08.004>
201. Considine, M., J.M. Lewis, and D. Alexander, 2009: *Networks, Innovation and Public Policy: Politicians, Bureaucrats and the Pathways to Change inside Government*, 1st ed. Palgrave Macmillan, London, UK, 231 pp. <https://doi.org/10.1057/9780230595040>
202. Hamilton, M. and M. Lubell, 2018: Collaborative governance of climate change adaptation across spatial and institutional scales. *Policy Studies Journal*, **46** (2), 222–247. <https://doi.org/10.1111/psj.12224>
203. Martín, C. and S. McTarnaghan, 2018: Institutionalizing Urban Resilience: A Midterm Monitoring and Evaluation Report of 100 Resilient Cities. Urban Institute, Washington, DC. <https://www.urban.org/research/publication/institutionalizing-urban-resilience>
204. Moon, M.J. and D.F. Norris, 2005: Does managerial orientation matter? The adoption of reinventing government and e-government at the municipal level. *Information Systems Journal*, **15** (1), 43–60. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2575.2005.00185.x>
205. Nelson, K.L. and J.H. Svara, 2010: Adaptation of models versus variations in form: Classifying structures of city government. *Urban Affairs Review*, **45** (4), 544–562. <https://doi.org/10.1177/1078087409356349>
206. Nelson, K.L. and J.H. Svara, 2012: Form of government still matters: Fostering innovation in U.S. municipal governments. *The American Review of Public Administration*, **42** (3), 257–281. <https://doi.org/10.1177/0275074011399898>
207. Nelson, K.L. and J.H. Svara, 2015: The roles of local government managers in theory and practice: A centennial perspective. *Public Administration Review*, **75** (1), 49–61. <https://doi.org/10.1111/puar.12296>

208. Nelson, K.L., C.H. Wood, and G.T. Gabris, 2011: Innovation management in local government: An empirical analysis of suburban municipalities. *International Journal of Organization Theory & Behavior*, **14** (3), 301–328. <https://doi.org/10.1108/ijotb-14-03-2011-b001>
209. Tanner, T., T. Mitchell, E. Polack, and B. Guenther, 2009: Urban governance for adaptation: Assessing climate change resilience in ten Asian cities. *IDS Working Papers*, **2009** (315), 01–47. https://doi.org/10.1111/j.2040-0209.2009.00315_2.x
210. Tyler, S. and M. Moench, 2012: A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*, **4** (4), 311–326. <https://doi.org/10.1080/17565529.2012.745389>
211. Wallace, D. and R. Wallace, 2008: Urban systems during disasters: Factors for resilience. *Ecology and Society*, **13** (1), 18. <https://doi.org/10.5751/es-02386-130118>
212. Woodruff, S.C., S. Meerow, M. Stults, and C. Wilkins, 2022: Adaptation to resilience planning: Alternative pathways to prepare for climate change. *Journal of Planning Education and Research*, **42** (1), 64–75. <https://doi.org/10.1177/0739456x18801057>
213. Gourevitch, J.D., C. Kousky, Y. Liao, C. Nolte, A.B. Pollack, J.R. Porter, and J.A. Weill, 2023: Unpriced climate risk and the potential consequences of overvaluation in US housing markets. *Nature Climate Change*, **13** (3), 250–257. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01594-8>
214. Kousky, C. and K. French, 2023: Inclusive Insurance for Climate-Related Disasters: A Roadmap for the United States. Ceres, Boston, MA. <https://www.ceres.org/resources/reports/report-inclusive-insurance-climate-related-disasters>
215. Berke, P.R., W. Lyles, and G. Smith, 2014: Impacts of federal and state hazard mitigation policies on local land use policy. *Journal of Planning Education and Research*, **34** (1), 60–76. <https://doi.org/10.1177/0739456x13517004>
216. Bryan, T.K. and J.F. Wolf, 2010: Soft regionalism in action: Examining voluntary regional councils' structures, processes and programs. *Public Organization Review*, **10** (2), 99–115. <https://doi.org/10.1007/s11115-009-0090-y>
217. Chu, E.K., S. Hughes, and S.G. Mason, 2018: Ch. 18. Conclusion: Multilevel governance and climate change innovations in cities. In: *Climate Change in Cities: Innovations in Multi-Level Governance*. Hughes, S., E. Chu, and S. Mason, Eds. Springer, Cham, Switzerland, 361–378. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65003-6_18
218. Cole, D.H., 2015: Advantages of a polycentric approach to climate change policy. *Nature Climate Change*, **5** (2), 114–118. <https://doi.org/10.1038/nclimate2490>
219. GAO, 2009: Climate Change Adaptation: Strategic Federal Planning Could Help Government Officials Make More Informed Decisions. GAO-10-113. U.S. Government Accountability Office. <https://www.gao.gov/assets/gao-10-113.pdf>
220. Hsu, A. and R. Rauber, 2021: Diverse climate actors show limited coordination in a large-scale text analysis of strategy documents. *Communications Earth & Environment*, **2** (1), 30. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00098-7>
221. Landauer, M., S. Juhola, and J. Klein, 2019: The role of scale in integrating climate change adaptation and mitigation in cities. *Journal of Environmental Planning and Management*, **62** (5), 741–765. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1430022>
222. Ostrom, E., 2010: Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. *Global Environmental Change*, **20** (4), 550–557. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.07.004>
223. Ostrom, E., 2012: Nested externalities and polycentric institutions: Must we wait for global solutions to climate change before taking actions at other scales? *Economic Theory*, **49** (2), 353–369. <https://doi.org/10.1007/s00199-010-0558-6>
224. Pendall, R., S. Rosenbloom, D.K. Levy, E. Oo, G. Knaap, J. Sartori, and A. Chakraborty, 2013: Can Federal Efforts Advance Federal and Local De-Siloing? UI No. 08752-000-00. Urban Institute, Washington, DC. <https://www.urban.org/research/publication/can-federal-efforts-advance-federal-and-local-de-siloing-full-report>
225. Davies, J.S., 2009: The limits of joined-up government: Towards a political analysis. *Public Administration*, **87** (1), 80–96. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9299.2008.01740.x>
226. Fernandez, S. and H.G. Rainey, 2006: Managing successful organizational change in the public sector. *Public Administration Review*, **66** (2), 168–176. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2006.00570.x>

227. Franzel, J.M., 2008: Urban government innovation: Identifying current innovations and factors that contribute to their adoption. *Review of Policy Research*, **25** (3), 253–277. <https://doi.org/10.1111/j.1541-1338.2008.00326.x>
228. Fu, X., 2020: Measuring local sea-level rise adaptation and adaptive capacity: A national survey in the United States. *Cities*, **102**, 102717. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102717>
229. Kimble, D., J. Boex, and G. Kapitanova, 2012: Making Decentralization Work in Developing Countries: Transforming Local Government Entities into High-Performing Local Government Organizations. IDG Policy Brief. Urban Institute Center on International Development and Governance, 6 pp. <https://www.urban.org/sites/default/files/publication/26271/412710-Making-Decentralization-Work-in-Developing-Countries-Transforming-Local-Government-Entities-into-High-Performing-Organizations.PDF>
230. Krebs, T.B. and J.P. Pelissero, 2010: What influences city council adoption and support for reinventing government? Environmental or institutional factors? *Public Administration Review*, **70** (2), 258–267. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2010.02132.x>
231. Kwon, M., F.S. Berry, and R.C. Feiock, 2009: Understanding the adoption and timing of economic development strategies in US cities using innovation and institutional analysis. *Journal of Public Administration Research and Theory*, **19** (4), 967–988. <https://doi.org/10.1093/jopart/mun026>
232. Olazabal, M. and M. Ruiz De Gopegui, 2021: Adaptation planning in large cities is unlikely to be effective. *Landscape and Urban Planning*, **206**, 103974. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103974>
233. Olazabal, M., M. Ruiz de Gopegui, E.L. Tompkins, K. Venner, and R. Smith, 2019: A cross-scale worldwide analysis of coastal adaptation planning. *Environmental Research Letters*, **14** (12), 124056. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5532>
234. Rosenbloom, D., J. Meadowcroft, and B. Cashore, 2019: Stability and climate policy? Harnessing insights on path dependence, policy feedback, and transition pathways. *Energy Research & Social Science*, **50**, 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.12.009>
235. Stokes, L.C., 2020: *Short Circuiting Policy: Interest Groups and the Battle Over Clean Energy and Climate Policy in the American States*. Oxford University Press, New York. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190074258.001.0001>
236. Ruppert, T. and E.L. Deady, 2017: Ch. 7. Climate change impacts on law and policy in Florida. In: *Florida's Climate: Changes, Variations, & Impacts*. Florida Climate Institute, 209–234. <https://doi.org/10.17125/fci2017.ch07>
237. Bushnell, J.B., S.P. Holland, J.E. Hughes, and C.R. Knittel, 2017: Strategic policy choice in state-level regulation: The EPA's clean power plan. *American Economic Journal: Economic Policy*, **9** (2), 57–90. <https://doi.org/10.1257/pol.20150237>
238. Vella, K., W.H. Butler, N. Sipe, T. Chapin, and J. Murley, 2016: Voluntary collaboration for adaptive governance: The southeast Florida regional climate change compact. *Journal of Planning Education and Research*, **36** (3), 363–376. <https://doi.org/10.1177/0739456x16659700>
239. Fastiggi, M., S. Meerow, and T.R. Miller, 2021: Governing urban resilience: Organisational structures and coordination strategies in 20 North American city governments. *Urban Studies*, **58** (6), 1262–1285. <https://doi.org/10.1177/0042098020907277>
240. McTarnaghan, S., J. Morales-Burnett, and R. Marx, 2022: Urban Resilience: From Global Vision to Local Practice. Urban Institute. <https://www.urban.org/research/publication/urban-resilience-global-vision-local-practice>
241. IPCC, 2023: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Lee, H. and J. Romero, Eds. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 1–34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
242. Reed, P.M., A. Hadjimichael, R.H. Moss, C. Brelsford, C.D. Burleyson, S. Cohen, A. Dyreson, D.F. Gold, R.S. Gupta, K. Keller, M. Konar, E. Monier, J. Morris, V. Srikrishnan, N. Voisin, and J. Yoon, 2022: Multisector dynamics: Advancing the science of complex adaptive human-Earth systems. *Earth's Future*, **10** (3), e2021EF002621. <https://doi.org/10.1029/2021ef002621>
243. Carter, T.R., M. Benzie, E. Campiglio, H. Carlsen, S. Fronzek, M. Hildén, C.P.O. Reyer, and C. West, 2021: A conceptual framework for cross-border impacts of climate change. *Global Environmental Change*, **69**, 102307. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102307>

244. Challinor, A.J., W.N. Adger, T.G. Benton, D. Conway, M. Joshi, and D. Frame, 2018: Transmission of climate risks across sectors and borders. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **376** (2121), 20170301. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0301>
245. Gill, J.C. and B.D. Malamud, 2014: Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards. *Reviews of Geophysics*, **52** (4), 680–722. <https://doi.org/10.1002/2013rg000445>
246. Leonard, M., S. Westra, A. Phatak, M. Lambert, B. van den Hurk, K. McInnes, J. Risbey, S. Schuster, D. Jakob, and M. Stafford-Smith, 2014: A compound event framework for understanding extreme impacts. *WIREs Climate Change*, **5** (1), 113–128. <https://doi.org/10.1002/wcc.252>
247. Pescaroli, G. and D. Alexander, 2018: Understanding compound, interconnected, interacting, and cascading risks: A holistic framework. *Risk Analysis*, **38** (11), 2245–2257. <https://doi.org/10.1111/risa.13128>
248. Raymond, C., R.M. Horton, J. Zscheischler, O. Martius, A. AghaKouchak, J. Balch, S.G. Bowen, S.J. Camargo, J. Hess, K. Kornhuber, M. Oppenheimer, A.C. Ruane, T. Wahl, and K. White, 2020: Understanding and managing connected extreme events. *Nature Climate Change*, **10** (7), 611–621. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0790-4>
249. Zscheischler, J., O. Martius, S. Westra, E. Bevacqua, C. Raymond, R.M. Horton, B. van den Hurk, A. AghaKouchak, A. Jézéquel, M.D. Mahecha, D. Maraun, A.M. Ramos, N.N. Ridder, W. Thiery, and E. Vignotto, 2020: A typology of compound weather and climate events. *Nature Reviews Earth & Environment*, **1** (7), 333–347. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0060-z>
250. Callaghan, M., C.-F. Schleussner, S. Nath, Q. Lejeune, T.R. Knutson, M. Reichstein, G. Hansen, E. Theokritoff, M. Andrijevic, R.J. Brecha, M. Hegarty, C. Jones, K. Lee, A. Lucas, N. van Maanen, I. Menke, P. Pfeleiderer, B. Yesil, and J.C. Minx, 2021: Machine-learning-based evidence and attribution mapping of 100,000 climate impact studies. *Nature Climate Change*, **11** (11), 966–972. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01168-6>
251. Aune, K.T., D. Gesch, and G.S. Smith, 2020: A spatial analysis of climate gentrification in Orleans Parish, Louisiana post-Hurricane Katrina. *Environmental Research*, **185**, 109384. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109384>
252. Gould, K.A. and T.L. Lewis, 2018: From green gentrification to resilience gentrification: An example from Brooklyn. *City & Community*, **17** (1), 12–15. <https://doi.org/10.1111/cico.12283>
253. Immergluck, D. and T. Balan, 2018: Sustainable for whom? Green urban development, environmental gentrification, and the Atlanta Beltline. *Urban Geography*, **39** (4), 546–562. <https://doi.org/10.1080/02723638.2017.1360041>
254. Laska, S., Ed. 2020: *Louisiana's Response to Extreme Weather: A Coastal State's Adaptation Challenges and Successes*. Springer, Cham, Switzerland, 361 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27205-0>
255. Marino, E., 2015: *Fierce Climate, Sacred Ground: An Ethnography of Climate Change in Shishmaref, Alaska*. University of Alaska Press, Fairbanks, AK, 122 pp. <https://upcolorado.com/university-of-alaska-press/item/5674-fierce-climate-sacred-ground>
256. Marino, E., 2018: Adaptation privilege and voluntary buyouts: Perspectives on ethnocentrism in sea level rise relocation and retreat policies in the US. *Global Environmental Change*, **49**, 10–13. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.01.002>
257. Cha, J.M., 2020: A just transition for whom? Politics, contestation, and social identity in the disruption of coal in the Powder River Basin. *Energy Research and Social Science*, **69**, 101657. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101657>
258. Rice, J.L., D.A. Cohen, J. Long, and J.R. Jurjevich, 2020: Contradictions of the climate-friendly city: New perspectives on eco-gentrification and housing justice. *International Journal of Urban and Regional Research*, **44** (1), 145–165. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12740>
259. Moon, K. and D. Blackman, 2014: A guide to understanding social science research for natural scientists. *Conservation Biology*, **28** (5), 1167–1177. <https://doi.org/10.1111/cobi.12326>
260. Treuer, G., E. Koebele, A. Deslatte, K. Ernst, M. Garcia, and K. Manago, 2017: A narrative method for analyzing transitions in urban water management: The case of the Miami-Dade water and sewer department. *Water Resources Research*, **53** (1), 891–908. <https://doi.org/10.1002/2016wr019658>
261. Kim, S.K., 2019: The Economic Effects of Climate Change Adaptation Measures: Evidence from Miami-Dade County and New York City. Joint Center for Housing Studies of Harvard University, Cambridge, MA. <https://www.jchs.harvard.edu/research-areas/working-papers/economic-effects-climate-change-adaptation-measures-evidence-miami>

262. Solecki, W., G.C. Delgado Ramos, D. Roberts, C. Rosenzweig, and B. Walsh, 2021: Accelerating climate research and action in cities through advanced science-policy-practice partnerships. *Npj Urban Sustainability*, **1** (1), 3. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00015-z>
263. Lubell, M. and M. Robbins, 2022: Adapting to sea-level rise: Centralization or decentralization in polycentric governance systems? *Policy Studies Journal*, **50** (1), 143–175. <https://doi.org/10.1111/psj.12430>
264. Djenontin, I.N.S. and A.M. Meadow, 2018: The art of co-production of knowledge in environmental sciences and management: Lessons from international practice. *Environmental Management*, **61** (6), 885–903. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1028-3>
265. Araos, M., K. Jagannathan, R. Shukla, I. Ajibade, E. Coughlan de Perez, K. Davis, J.D. Ford, E.K. Galappaththi, C. Grady, A.J. Hudson, E.T. Joe, C.J. Kirchhoff, A. Lesnikowski, G.N. Alverio, M. Nielsen, B. Orlove, B. Pentz, D. Reckien, A.R. Siders, N. Ulibarri, M. van Aalst, T.Z. Abu, T. Agrawal, L. Berrang-Ford, R.B. Kerr, S. Coggins, M. Garschagen, A. Harden, K.J. Mach, A.M. Nunbogu, P. Spandan, S. Templeman, and L.L. Turek-Hankins, 2021: Equity in human adaptation-related responses: A systematic global review. *One Earth*, **4** (10), 1454–1467. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.09.001>
266. Arnott, J.C. and M.C. Lemos, 2021: Understanding knowledge use for sustainability. *Environmental Science & Policy*, **120**, 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.02.016>
267. Karcher, D.B., C. Cvitanovic, R.M. Colvin, I.E. van Putten, and M.S. Reed, 2021: Is this what success looks like? Mismatches between the aims, claims, and evidence used to demonstrate impact from knowledge exchange processes at the interface of environmental science and policy. *Environmental Science & Policy*, **125**, 202–218. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.012>
268. Owen, G., 2021: Evaluating socially engaged climate research: Scientists’ visions of a climate resilient U.S. southwest. *Research Evaluation*, **30** (1), 26–38. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvaa028>
269. Jagannathan, K., G. Emmanuel, J. Arnott, K.J. Mach, A. Bamzai-Dodson, K. Goodrich, R. Meyer, M. Neff, K.D. Sjoström, K.M.F. Timm, E. Turnhout, G. Wong-Parodi, A.T. Bednarek, A. Meadow, A. Dewulf, C.J. Kirchhoff, R.H. Moss, L. Nichols, E. Oldach, M.C. Lemos, and N. Klenk, 2023: A research agenda for the science of actionable knowledge: Drawing from a review of the most misguided to the most enlightened claims in the science-policy interface literature. *Environmental Science & Policy*, **144**, 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.03.004>
270. Turnhout, E., T. Metzger, C. Wyborn, N. Klenk, and E. Louder, 2020: The politics of co-production: Participation, power, and transformation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **42**, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.11.009>