



Selección de Conjuntos de Proyecciones del Cambio Climático para Aplicaciones de Mitigación, Adaptación y Gestión del Riesgo

Alex Ruane y Meridel Phillips, Instituto NASA Goddard para Estudios Espaciales, Nueva York

1^{ra} Parte: 19 de septiembre de 2022

2^{da} Parte: 20 de septiembre de 2022



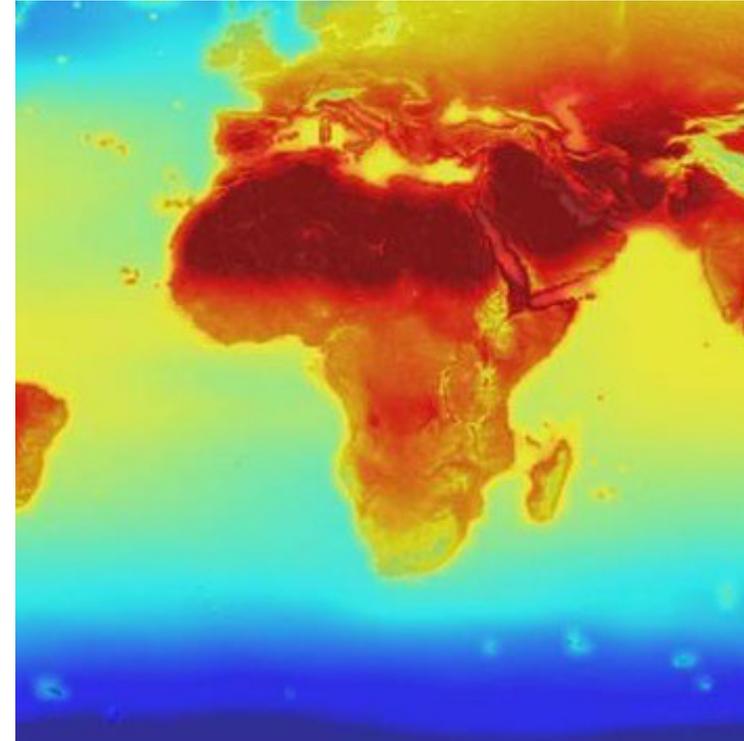
Contexto Importante de Capacitaciones de ARSET Anteriores

1^{ra} Parte: Monitoreo del Cambio Climático e Impactos Usando Datos de Teledetección y Modelos



29 de septiembre de 2022

2^{da} Parte: Escenarios de Cambio Climático en el Futuro, Pronóstico de Impactos y Adaptación



6 de octubre de 2022



Tratando con Un Chorro de Datos Climáticos

Nuestro objetivo es ayudar a los expertos y partes interesadas a comprender la gran variedad de información climática para seleccionar conjuntos de proyecciones climáticas adecuados para una aplicación.

Tenga en cuenta que no le daremos una recomendación, sino que nuestro objetivo es empoderarlo en su proceso de selección.



Foto de la Naval de EE.UU., Disponible en Wikimedia Commons



Objetivos para esta Sesión de ARSET

¿Cómo seleccionamos un conjunto de proyecciones climáticas para usar en nuestra aplicación de mitigación, adaptación o gestión del riesgo?

Parte 1: ¿Qué hace los conjuntos de proyecciones diferentes?

- Contexto de las áreas de aplicación (mitigación, adaptación, riesgo)
- De dónde provienen los conjuntos de proyecciones climáticas
- Características distintivas clave

Parte 2: ¿Cómo se elige un conjunto de proyecciones para las aplicaciones de uno?

- Alineación de las características del conjunto de proyecciones con las necesidades de una aplicación determinada
- Ventaja de usar versiones más actualizadas
- Compromisos en el uso de conjuntos de proyecciones más complejos
- Materiales de apoyo que hacen que un conjuntos de proyecciones sea más atractivo





1^{ra} Parte: ¿Qué hace los conjuntos de proyecciones diferentes?

Contexto de las Áreas de Aplicación

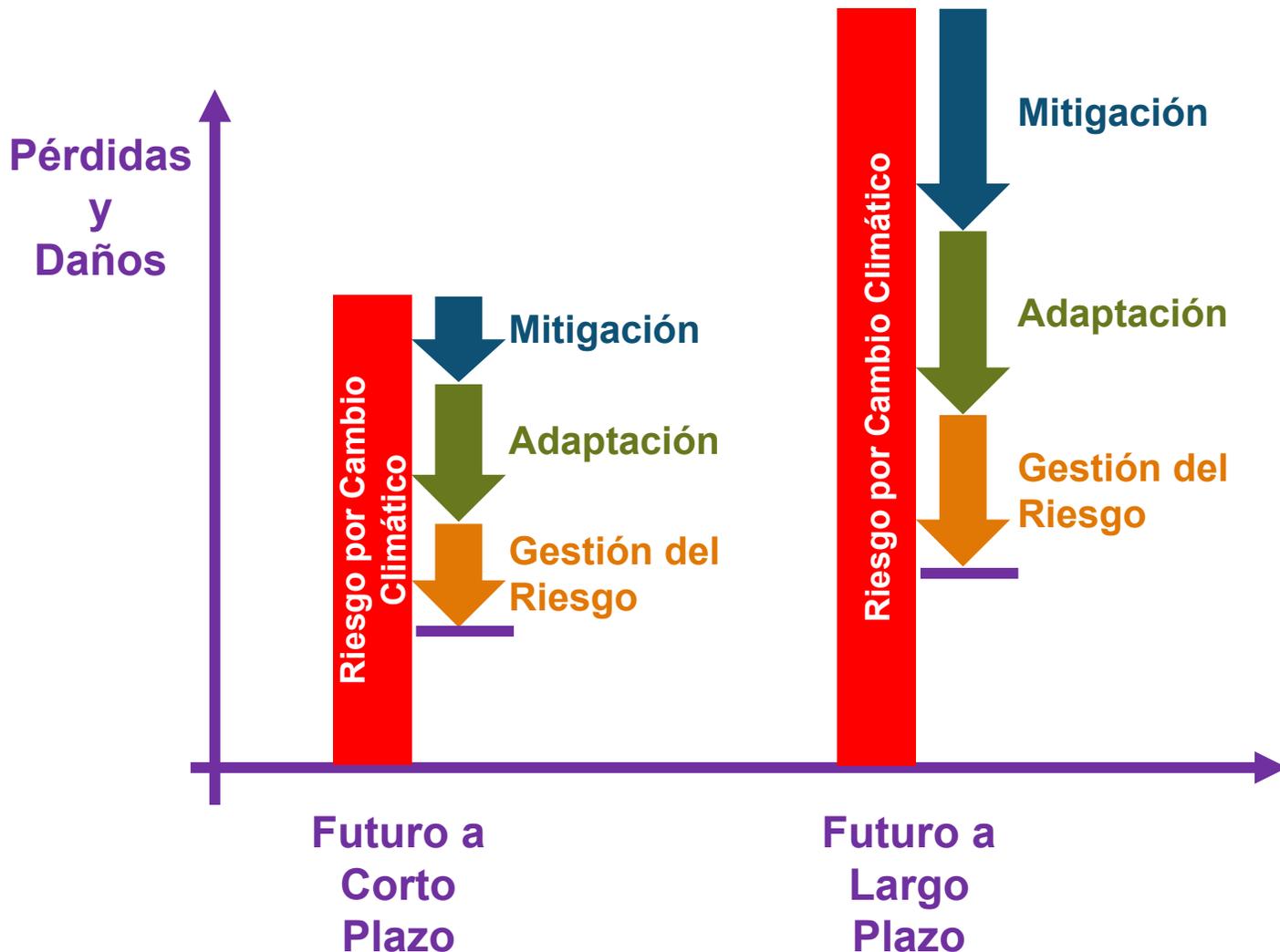
Resumen de las Áreas de Aplicación

Tres opciones ante el cambio climático:

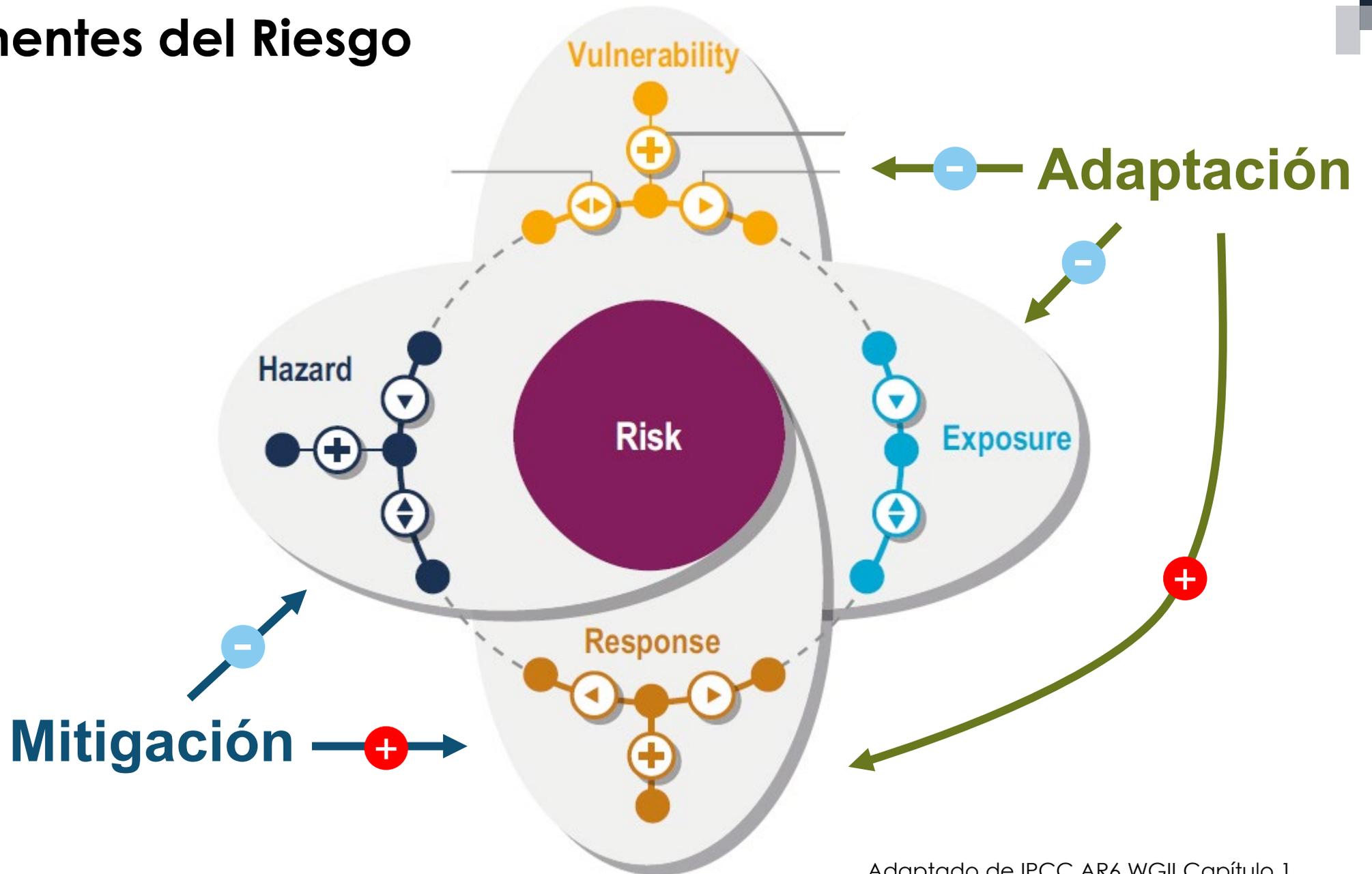
Mitigar, **adaptar**, o **gestionar el riesgo restante**

Probablemente se necesite una combinación de las tres:

- Las pérdidas y los daños pueden ocurrir incluso con intervenciones sustanciales
 - Costos y límites sustanciales
 - para la adaptación y
 - gestión de riesgos
- Los riesgos y las opciones crecen con el tiempo, dependiendo de nuestras acciones

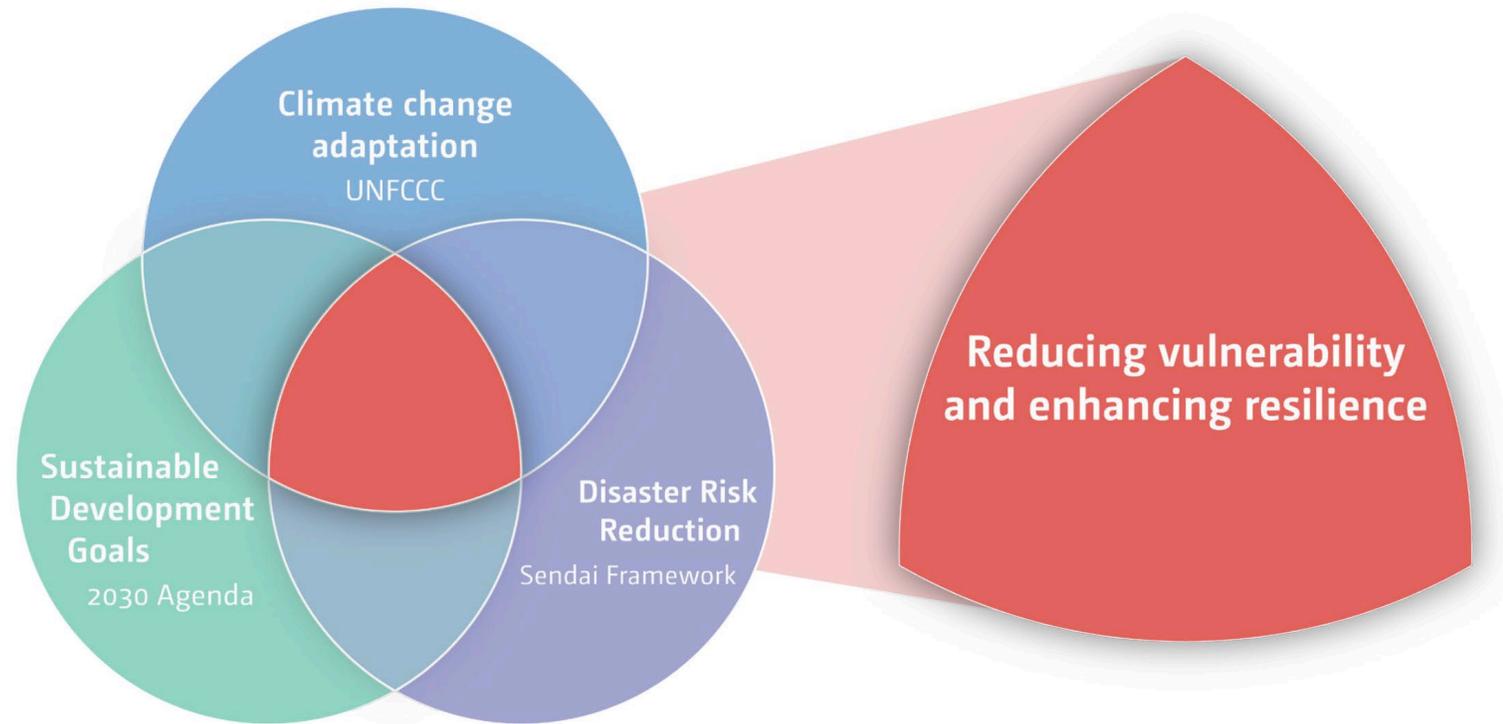


Componentes del Riesgo



Las acciones climáticas se conectan con la reducción del riesgo de desastres y el desarrollo sostenible.

- El clima y la reducción del riesgo de desastres son elementos fundamentales del desarrollo sostenible.
 - El desarrollo es más fácil si los riesgos se reducen
 - Es más fácil adaptarse si la magnitud del cambio climático es menor
 - Es más fácil gestionar el riesgo si se han realizado adaptaciones

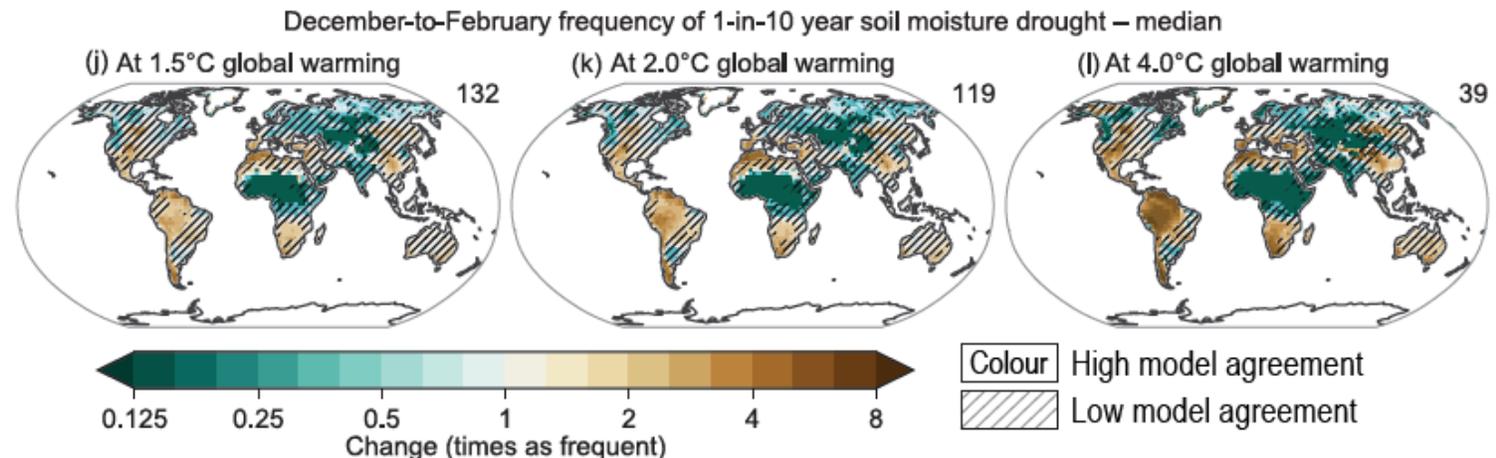
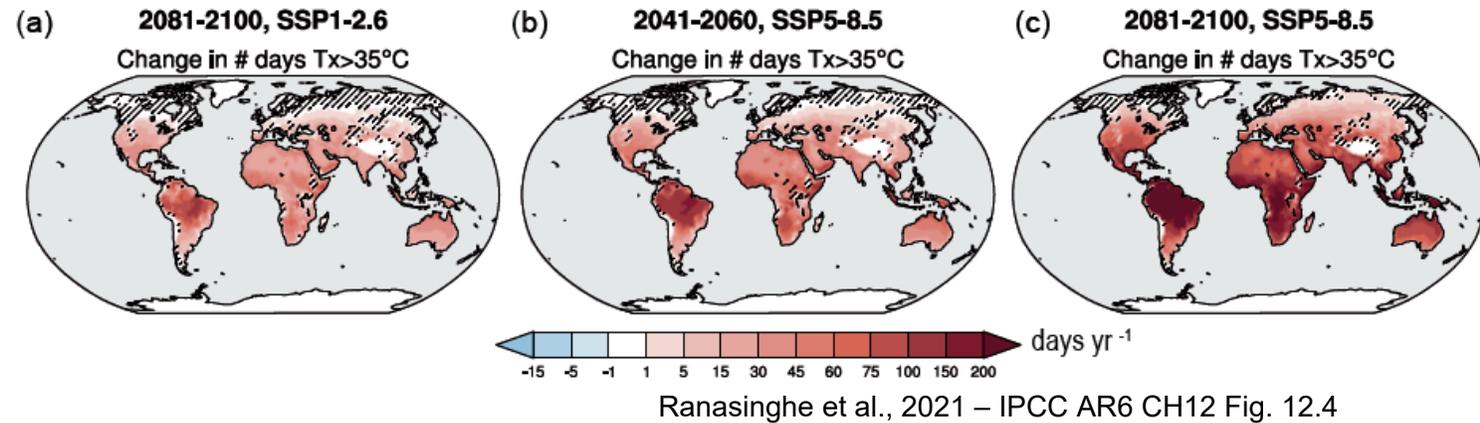


UNFCCC 2017: Oportunidades y opciones para integrar la adaptación al cambio climático con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030



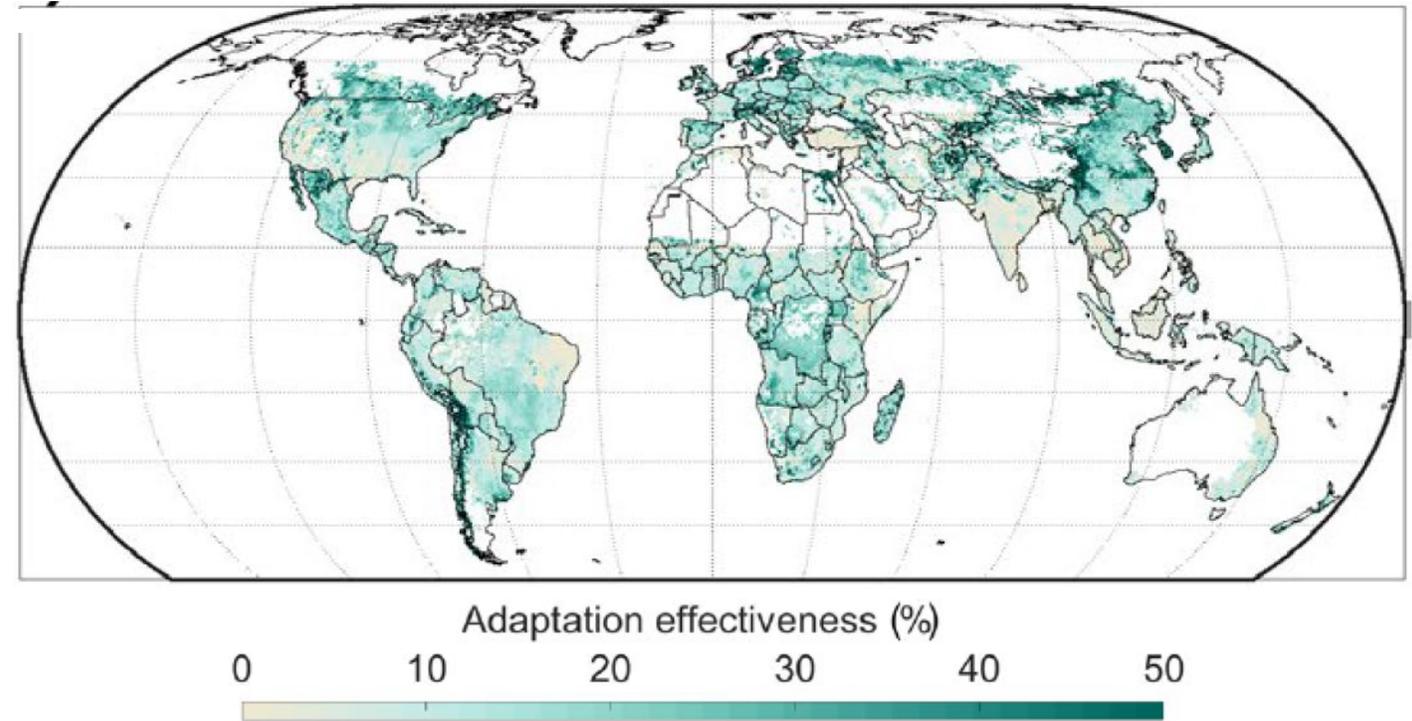
Enfoque de Aplicaciones de Mitigación

- Generalmente se comparan dos condiciones futuras diferentes dependiendo de las emisiones por parte de la sociedad
- Pueden basarse en las condiciones climáticas que evolucionan a lo largo de un escenario o camino determinado.
- Pueden basarse en los niveles emergentes de calentamiento global que podrían alcanzarse mediante una variedad de acciones sociales



Enfoque de Aplicaciones de Mitigación

- Generalmente se compara un sistema futuro con y sin intervención de adaptación
- También se debe definir la condición climática
- La adaptación al cambio climático está dirigida hacia un factor de cambio climático en particular



**Beneficio para la Producción de
Adaptar Variedades Principales de Cereales para
Temperaturas más Elevadas**

Escenario de Emisiones Moderadas (SSP2-4.5)
al Final de Siglo (2070-2100)

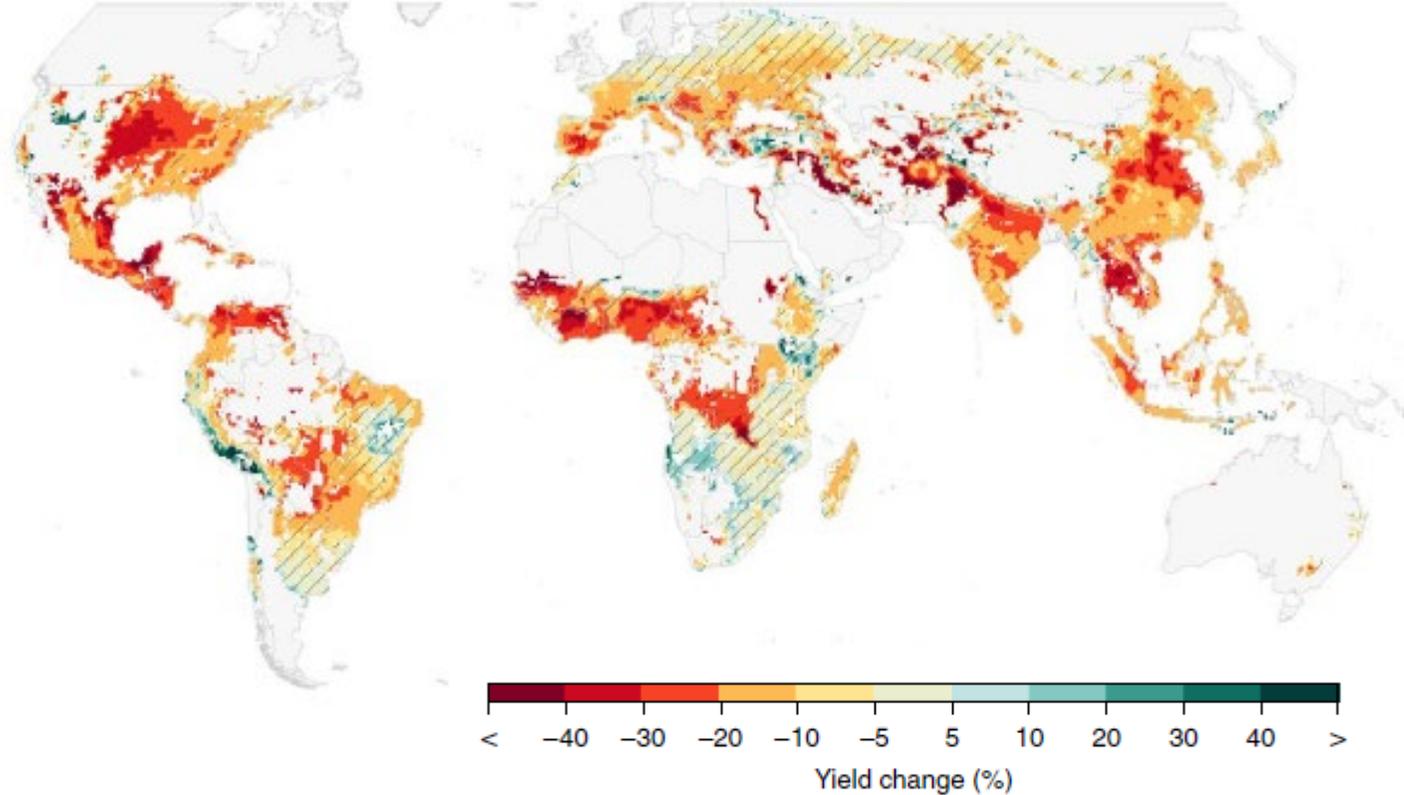
De Zabel et al., 2021 (doi:10.1111/gcb.15644)



Ejemplos de Aplicaciones de Gestión del Riesgo

- En general, se compara el cambio en el riesgo impulsado por el cambio en los peligros climáticos, la vulnerabilidad y la exposición
- La gestión del riesgo reactiva y proactiva requieren diferentes plazos de planificación
- El pensamiento sistémico es importante para comprender cómo las acciones y los riesgos interactúan con otras partes de la naturaleza y la sociedad.

Cambios en el rendimiento de maíz – Final de Siglo
SSP5-8.5



Jägermeyr et al., 2021
12 Crop models and 5 ISIMIP Climate Projections

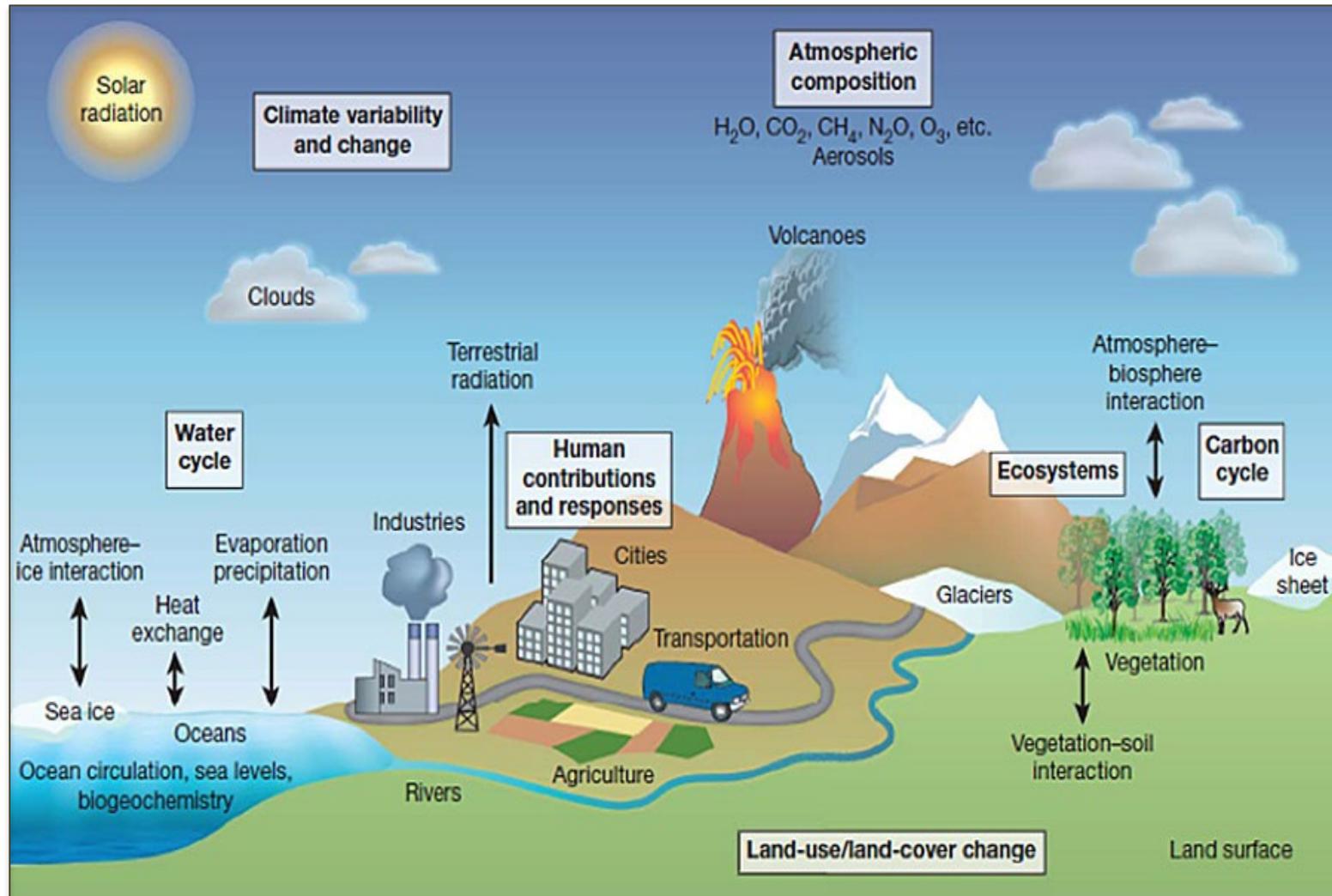




Origen y Orientación de los Conjuntos de Proyecciones Climáticas

Proyección del Cambio Climático Impulsado por el Ser Humano

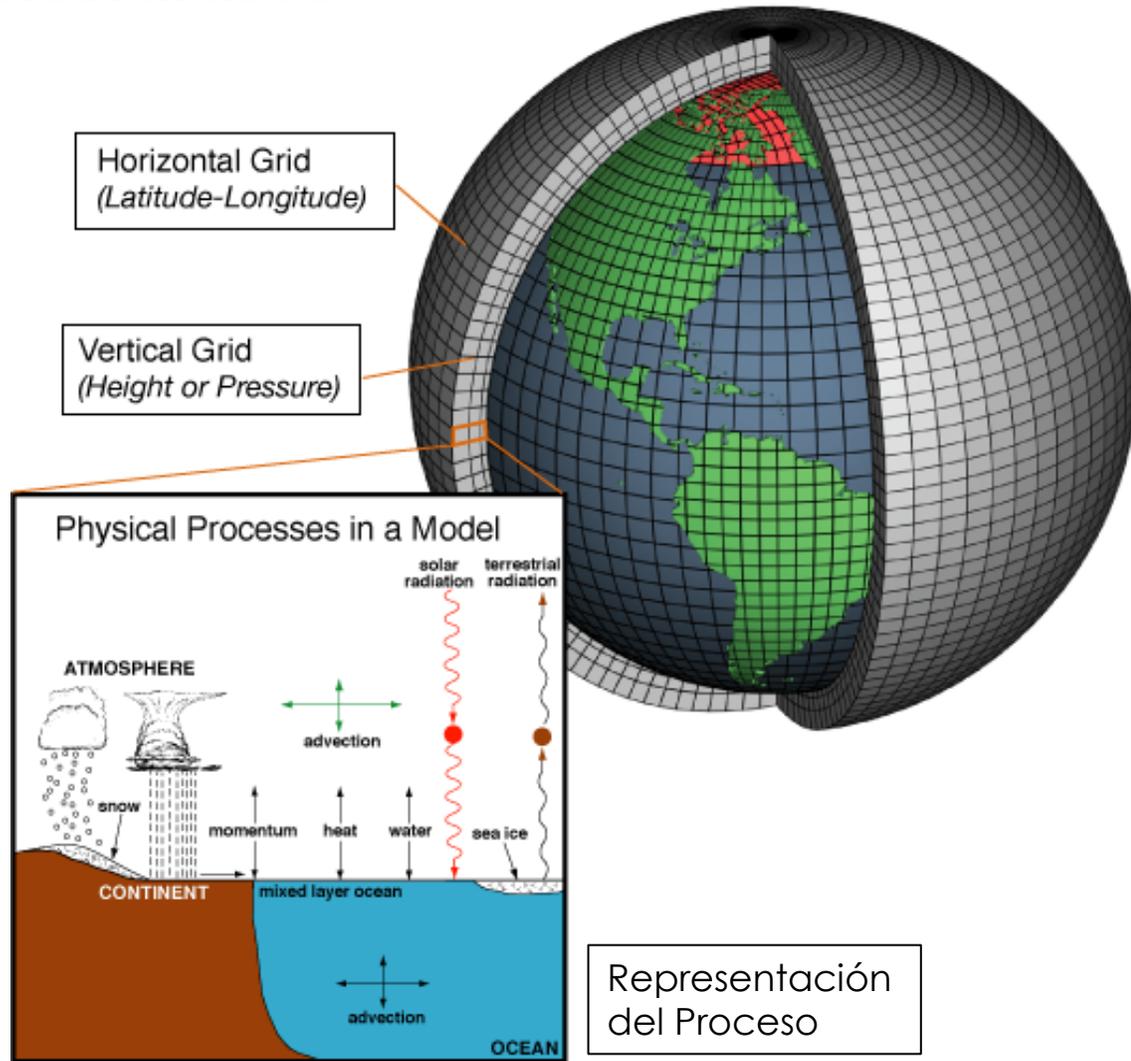
- La base de las proyecciones del cambio climático proviene de simulaciones que capturan la influencia humana en el sistema climático.
- Requiere física de la radiación, dinámica atmosférica, química, océanos, biosfera, criosfera y cambios provocados por el hombre en las emisiones y el uso del suelo.



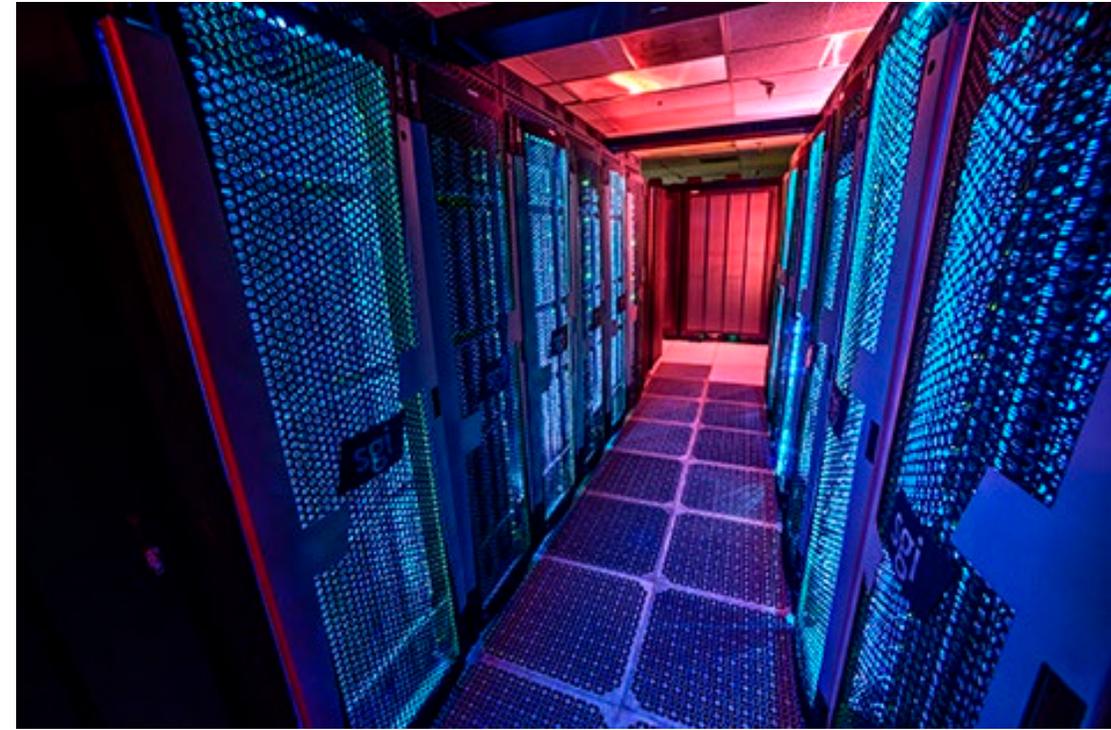
Moss et al., 2010 (<https://doi.org/10.1038/nature08823>)



Las Proyecciones Climáticas Comienzan con Modelos Climáticos Mundiales



Representación del Proceso



Supercomputador NASA Discover

Adaptado de la NOAA:

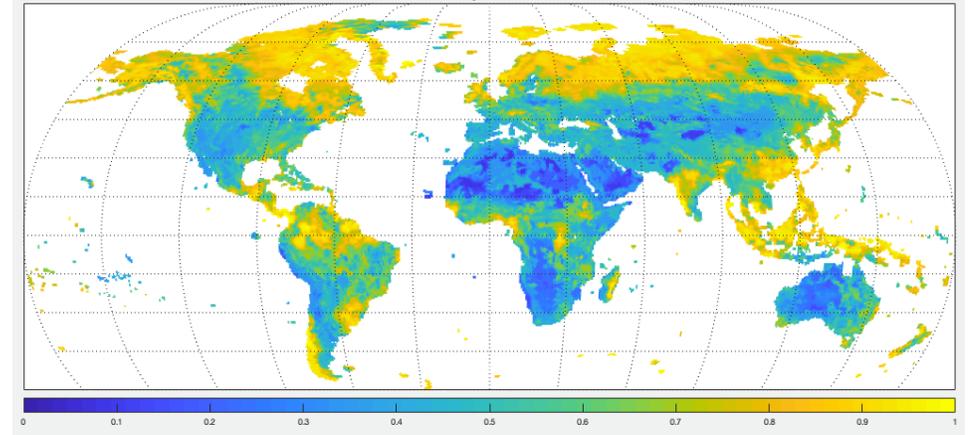
<https://www.climate.gov/maps-data/primer/climate-models>



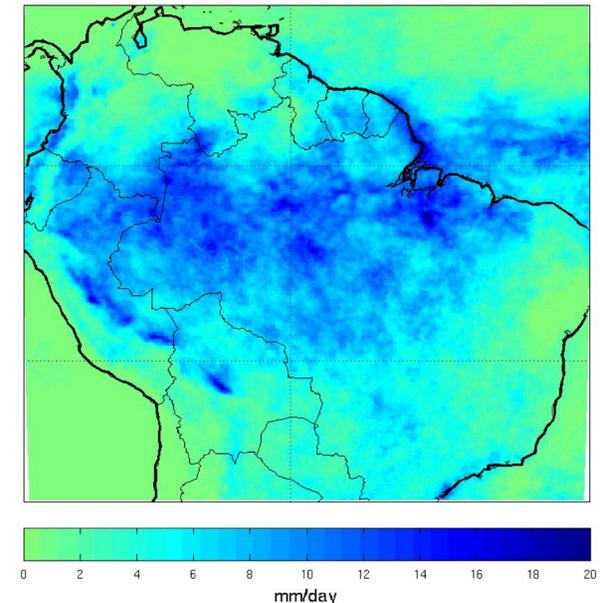
Los Conjuntos de Proyecciones Climáticas Informan las Proyecciones de Modelos con Datos de Observaciones.

- Los modelos climáticos a menudo están diseñados para capturar señales globales y es probable que las señales regionales incluyan sesgos.
- Las observaciones son una parte importante del desarrollo de los modelos y también se pueden utilizar para reducir los sesgos de las aplicaciones.

Humedad del Suelo Mundial de MERRA-2 para julio 2005 (fracción)



IMERG- Tasa de Precipitación Media en la Amazonía diciembre 2016 - marzo 2017



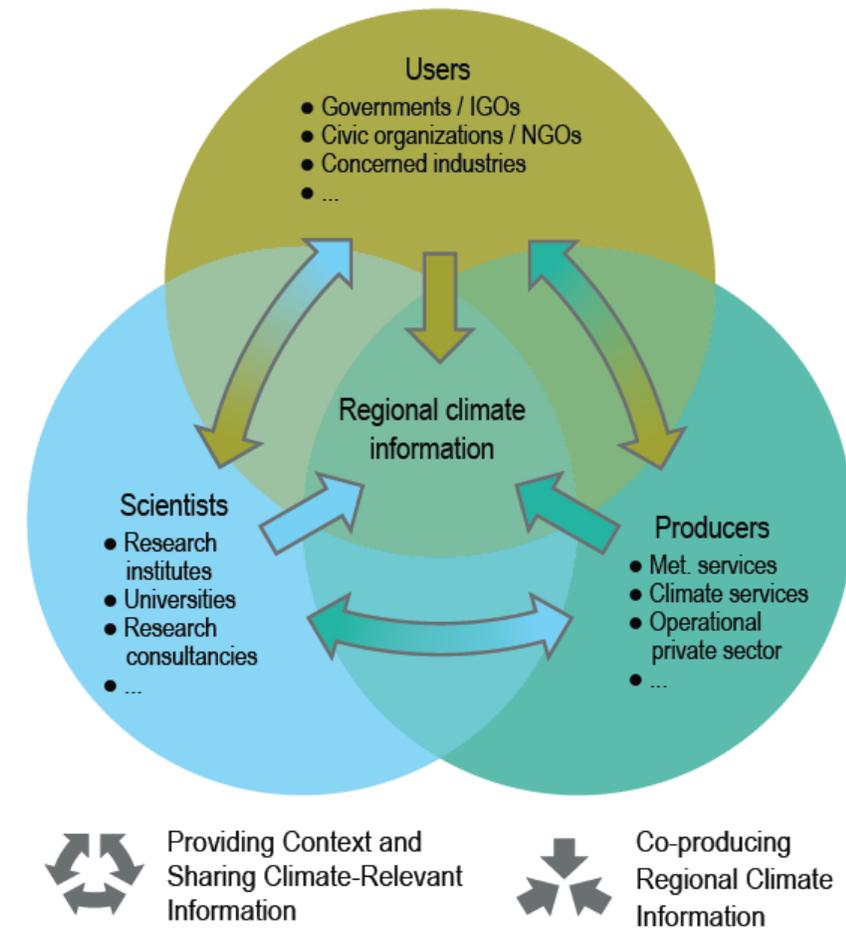
Los Conjuntos de Proyecciones Climáticas se Desarrollan para Su Uso en Aplicaciones.

- Ecosistemas terrestres y oceánicos, agricultura, recursos hídricos, ciudades e infraestructura, salud, energía, sistemas sociales y más
- Los conjuntos de proyecciones buscan escalas temporales y espaciales alineadas con el contexto de decisión.



Los Conjuntos de Proyecciones Climáticas se Construyen de Acuerdo con un Número de Opciones Específicas y Están Conformados por Limitaciones de Recursos.

- Es importante reconocer la influencia de los **valores** de los científicos y las partes interesadas
- Las aplicaciones a menudo están limitadas por los **recursos**
 - Tiempo, dinero, poder computacional, atención
- Los conjuntos de proyecciones destinados a proporcionar la capacidad de evaluar decisiones **condicionadas a caminos futuros** de la sociedad y el sistema climático.
 - Combinación de previsión o **advertencia** e **incertidumbre**



Interacción Regional con Información Climática Efectiva

de Doblas-Reyes et al., 2021 (IPCC AR6 WGI Chapter 10)





Características Distintivas Clave Entre Conjuntos de Proyecciones Climáticas

Información que debe entender sobre el conjunto de proyecciones climáticas
que seleccione

1. Salidas de Modelos Climáticos Globales Utilizadas

- Hay más de 100 modelos de sistemas terrestres (Earth System Models o ESMs) de más de 50 instituciones.
- Los principales grupos de modelación han coordinado simulaciones de escenarios de cambio climático dentro de los auspicios del **Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (Coupled Model Intercomparison Project o CMIP; Fase 6 disponible)**.
 - **CMIP3:** Datos del [Coupled Model Intercomparison Project 3](#) (~2007)
 - **CMIP5:** Datos del [Coupled Model Intercomparison Project 5](#) (~2013)
 - **CMIP6:** Datos del [Coupled Model Intercomparison Project 6](#) (~2020)
- Las instituciones de modelación están **mejorando constantemente** sus modelos.
 - Mayor resolución, física y química mejoradas, más procesos
- CMIP brinda información **diagnóstica y evaluativa** para cada ESM.



1. Salidas de Modelos Climáticos Globales Utilizadas

Fuentes Adicionales de Proyecciones Climáticas Mundiales:

- **Acceso directo** a salidas de un grupo de modelación (fuera de CMIP)
- Los **Grandes Ensamblajes** usan muchas condiciones iniciales para entender mejor la variabilidad interna
- **Emuladores de Modelos Climáticos:** Representaciones estadísticas del sistema climático
 - A menudo se crean para reproducir salidas de CMIP con un bajo costo computacional
 - Se utilizan comúnmente en modelos de evaluación integrados
 - Es importante considerar cuáles son los elementos que se incluyeron en el enfoque estadístico:
 - Detalle global vs. regional
 - Variables y su coherencia
 - Condiciones Promedio vs. Extremas



2. Escenarios y Tramas

- Los **escenarios** describen un mundo futuro a través de un conjunto de suposiciones plausibles e internamente consistentes, que podrían incluir emisiones de aerosoles y gases de efecto invernadero, cambios en el uso del suelo, desarrollo socioeconómico y cambios tecnológicos.
- El IPCC señala que los escenarios no son predicciones ni pronósticos, sino que se utilizan para proporcionar una visión de las implicaciones de los desarrollos y las acciones.
- Las proyecciones climáticas también pueden estar asociadas con una historia determinada:

IPCC AR6 WGI definió una **Trama** como: Una forma de dar sentido a una situación o una serie de eventos a través de la construcción de un conjunto de elementos explicativos. Por lo general, se basa en un razonamiento lógico o causal..

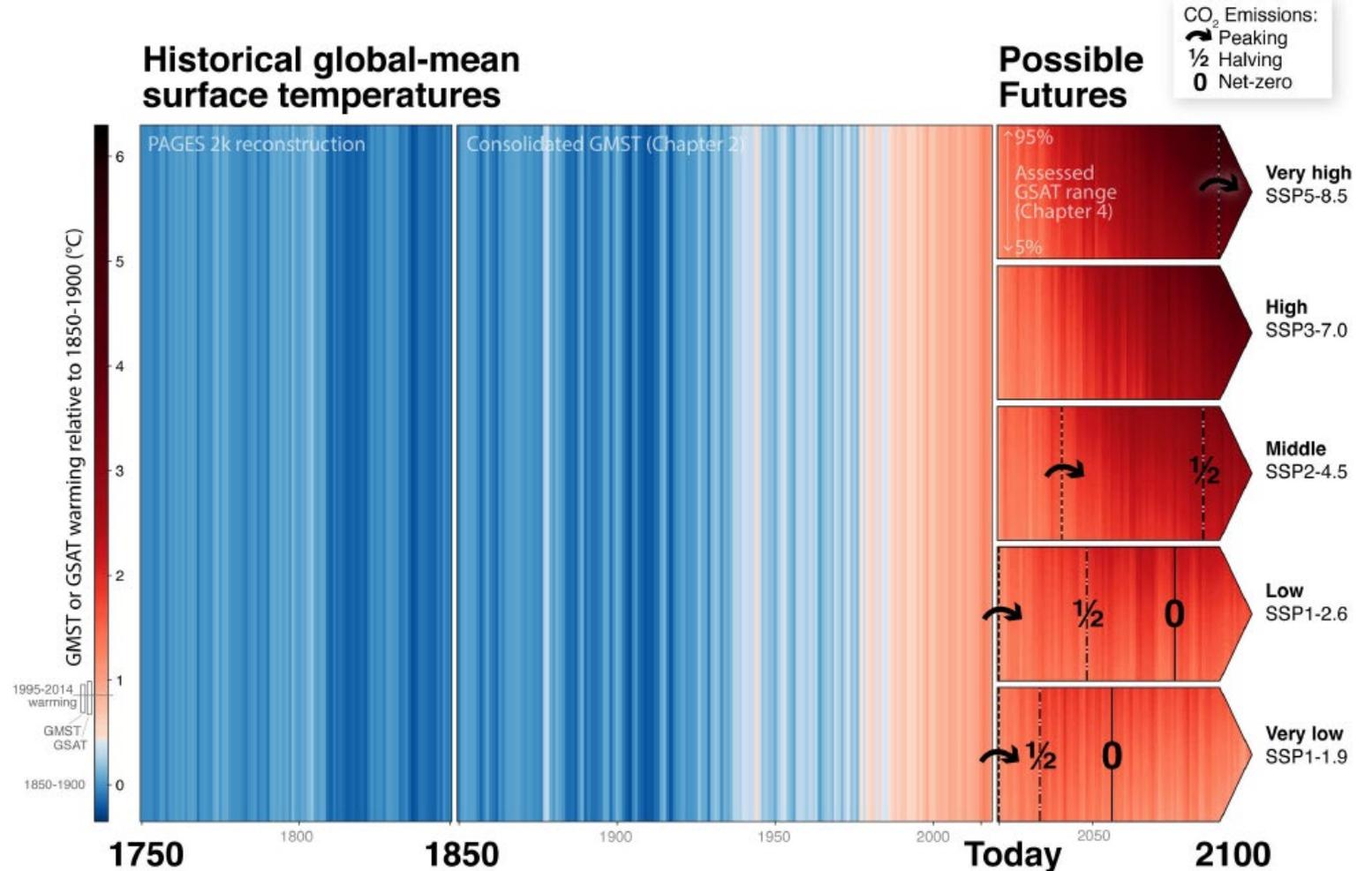
- Las tramas pueden tener elementos sociales y físicos, por ejemplo:
 - Una gran sequía en la década de 2080
 - Las implicaciones físicas de una determinada cantidad de calentamiento global
 - El conjunto de condiciones derivadas del descubrimiento de una nueva tecnología.
 - Las ramificaciones de una política en particular o nueva financiación que se está implementando



Tramas

- Ejemplos:
 - **SRES:** Special Report on Emissions Scenarios desarrollado para IPCC TAR (2000) – [A2, B1, A1B]
 - **RCP/SSP*-RCP**:** Representative Concentration Pathways or Shared Socioeconomic Pathways (o una combinación)
 - SSP3-7.0 y SSP1-2.6 a menudo se utilizan como escenarios plausibles de gama alta y baja
 - **GWLs:** Global Warming Levels
 - **NDCs:** Nationally-Determined Contributions

*SSP- siglas de “Shared socioeconomic pathways” = Caminos socioeconómicos compartidos en inglés
 **RCP- Representative Concentration Pathways = Caminos de Concentraciones Representativas



IPCC AR6 WGI

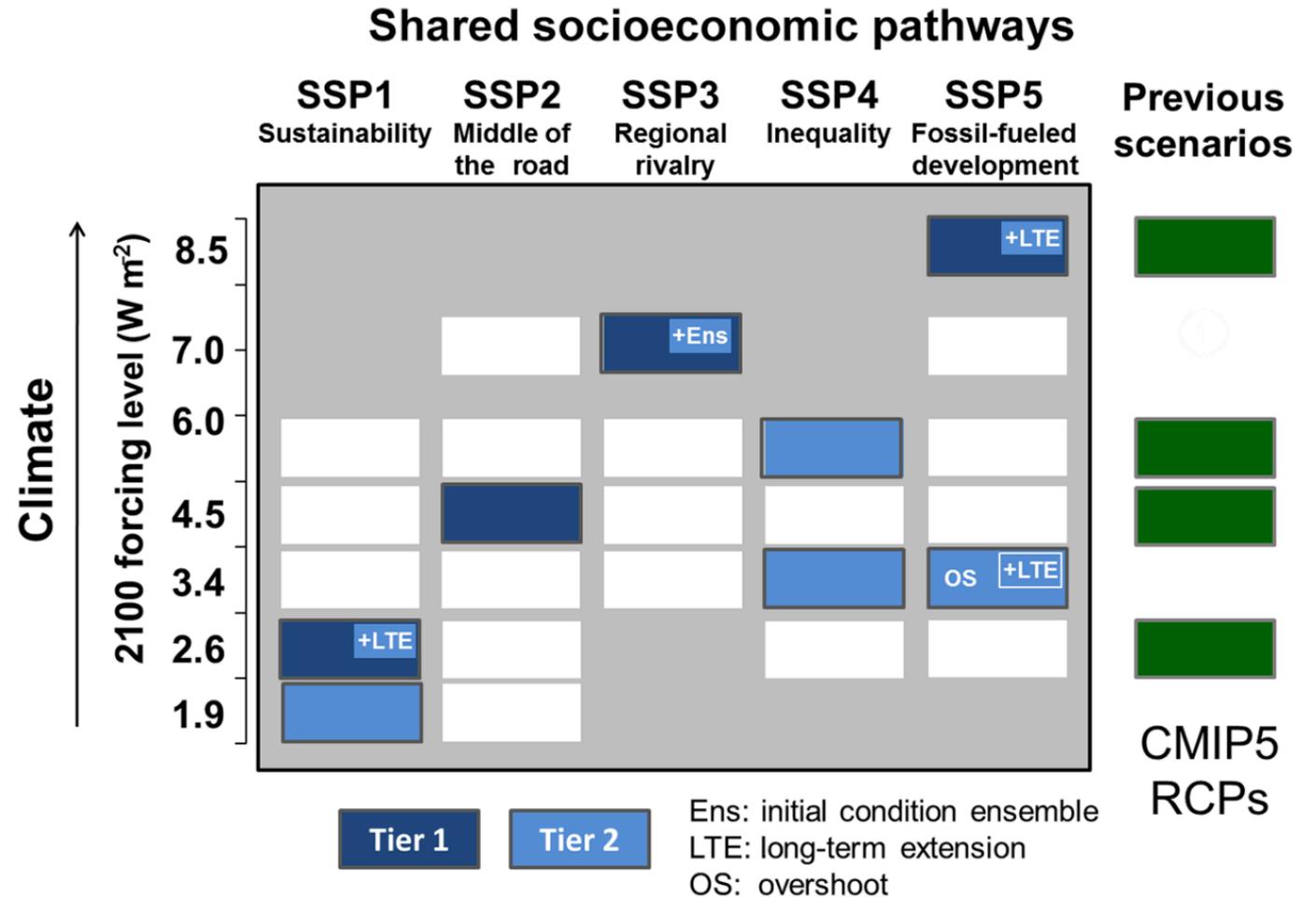
Chen et al., 2021 Figura 1.25



2. Escenarios y Tramas

- Los SSP* describen el desarrollo socioeconómico.
- Los RCP** describen las concentraciones de gases de efecto invernadero.
- Estos pueden estar relacionados y la mitigación puede crear combinaciones únicas.
- Cada SSP conduce a un RCP determinado sin mitigación, pero la mitigación puede reducir los RCP.

*SSP- siglas de "Shared socioeconomic pathways" = Caminos socioeconómicos compartidos en inglés
 **RCP- Representative Concentration Pathways = Caminos de Concentraciones Representativas
 NASA's Applied Remote Sensing Training Program

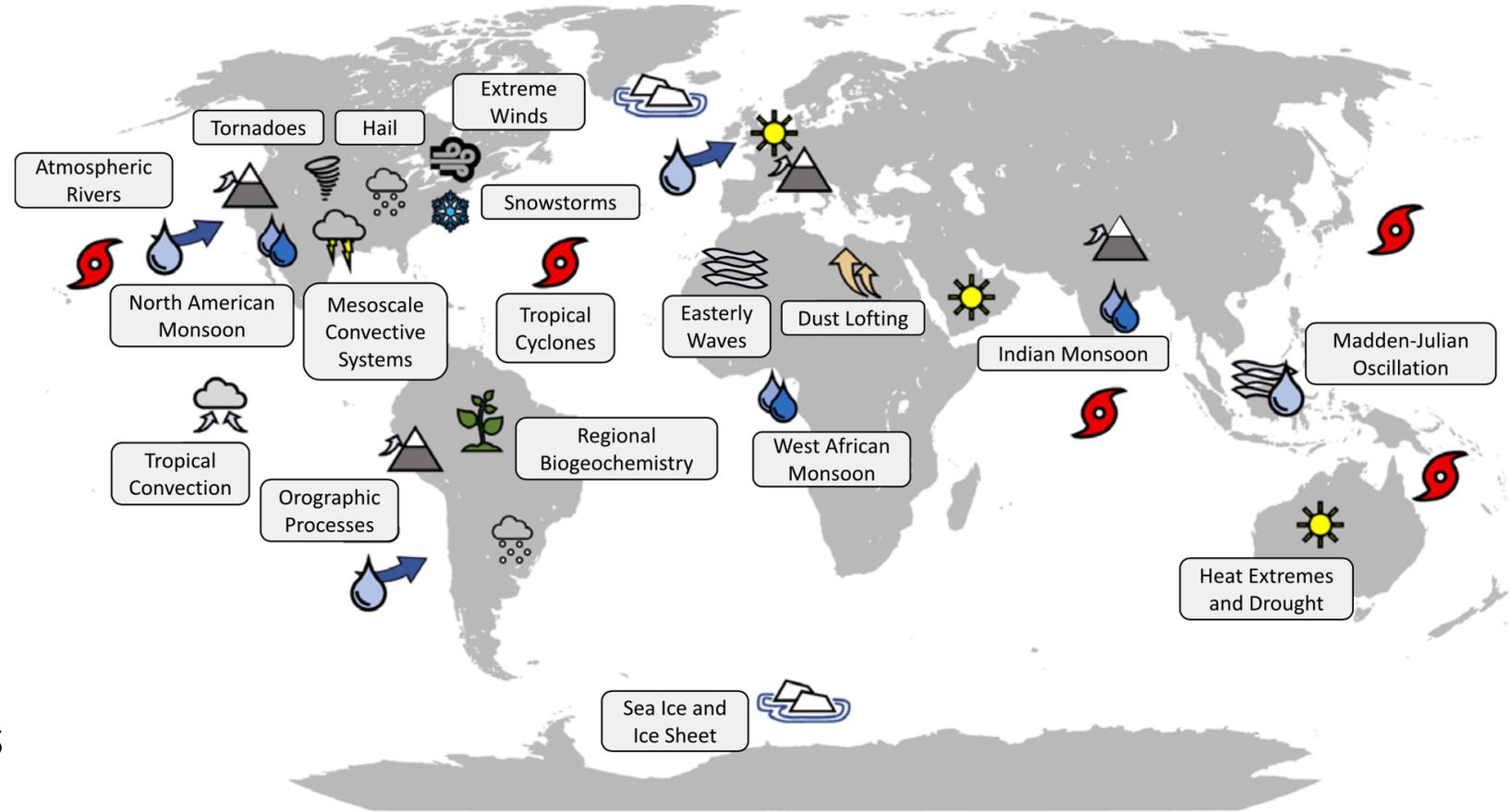


ScenarioMIP Shared Socioeconomic Pathways
 de O'Neill et al., 2016 (doi:10.5194/gmd-9-3461-2016)



3. Reducción de Escala (Downscaling)

- Análisis diseñados para llevar la información de un modelo global a una resolución más fina, incluyendo potencialmente:
 - representación de características a escala más fina, como el uso del suelo, las montañas y las costas
 - Procesos físicos asociados con dinámicas de resolución más fina



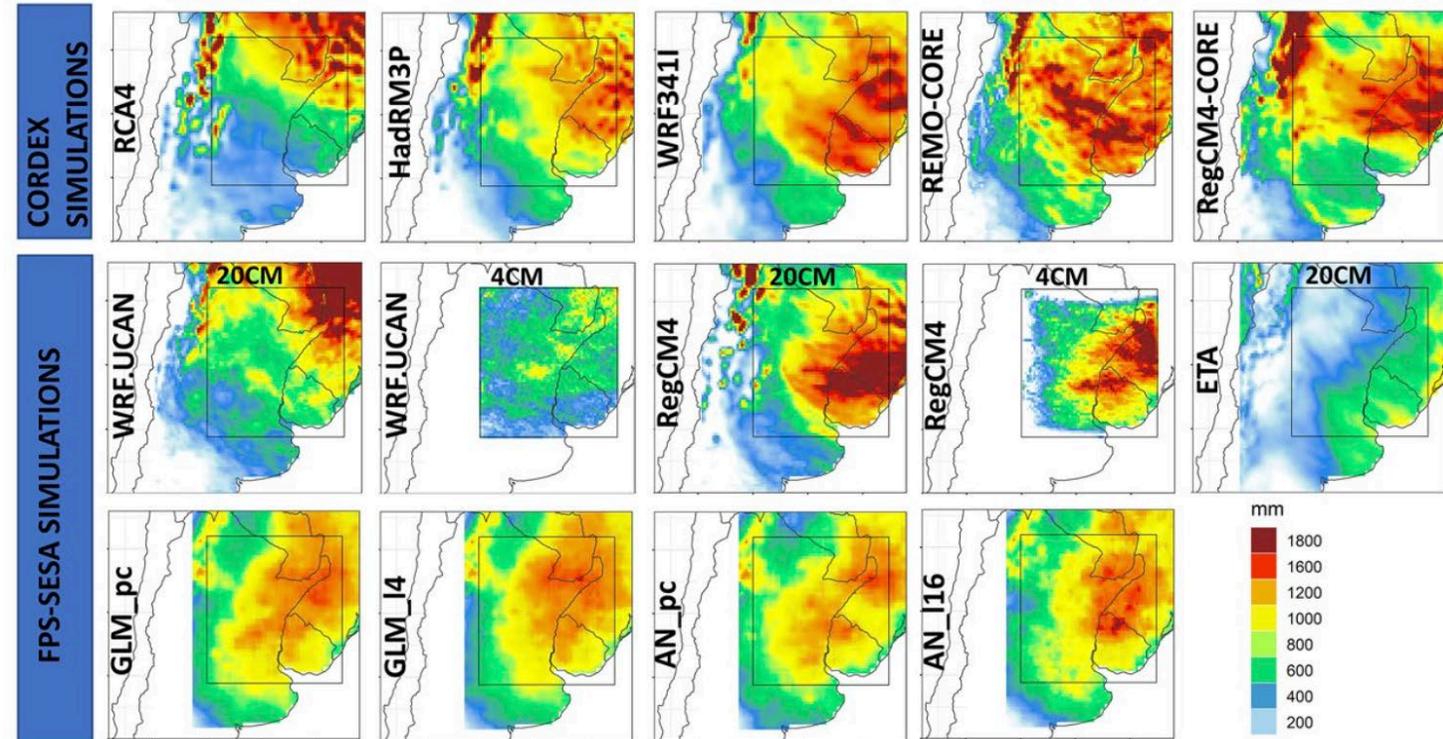
Características del Sistema Climático que Podrían Beneficiarse de una Modelación Regional a Escala Más Fina

*De Gutowski et al., 2020, Figura 1
(doi:10.1175/BAMS-D-19-0113.1)*



3. Reducción de Escala (Downscaling)

- Posibilidades:
 - Dinámica: modelo de resolución fina impulsado por las condiciones de contorno de GCM
 - Estadística: los enfoques empíricos predicen características a escala fina a partir de condiciones a gran escala
 - Analógicas climáticas: se usan tipos de clima y condiciones históricas para construir condiciones locales



Cantidad de Precipitación Total durante la Temporada de Calor 2009-2010 de CORDEX-RCMs (fila superior) y FPS-SESA Dynamical Downscaled (fila del medio) y Empirical-Statistically Downscaled (dos filas inferiores)

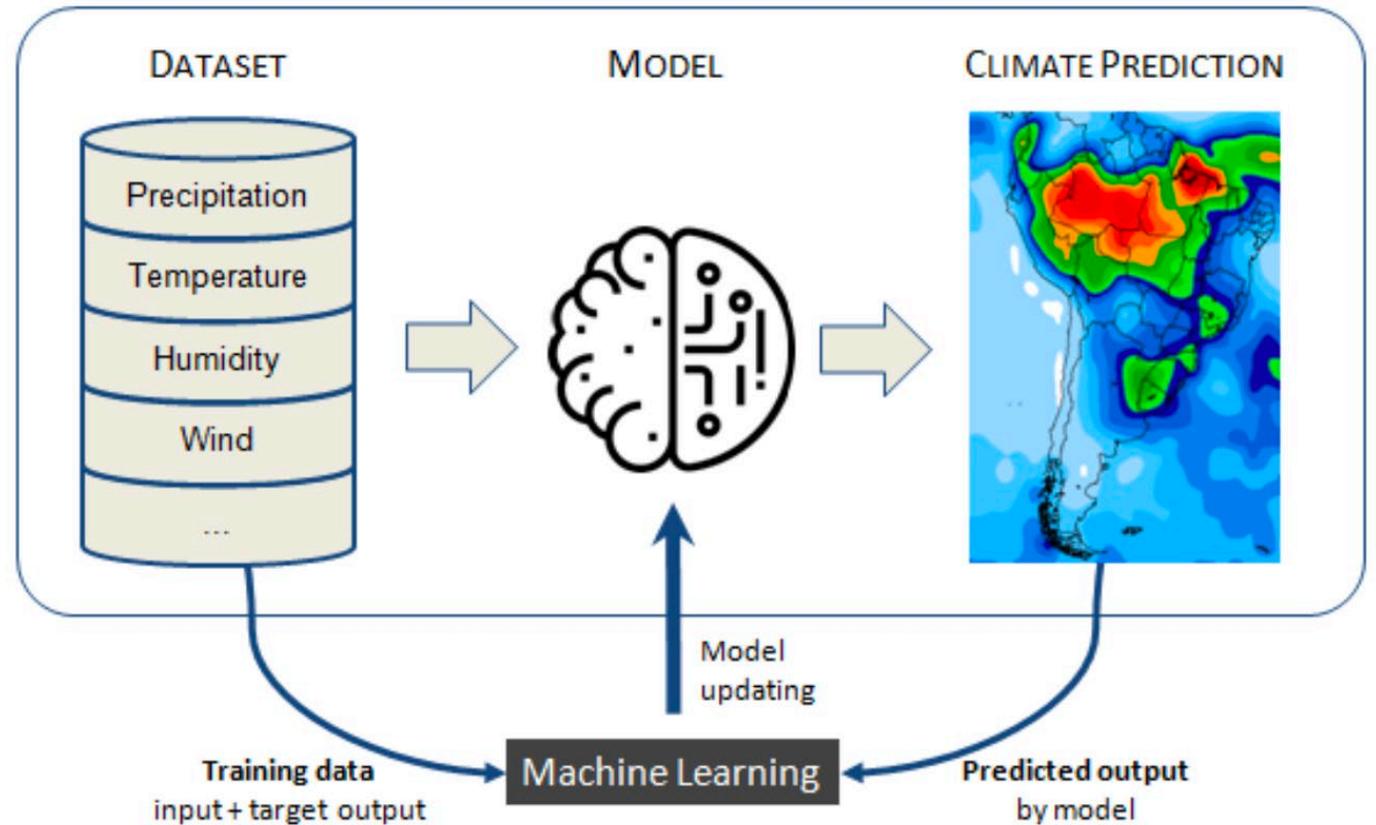
*De Bettolli et al., 2021
(doi:10.1007/s00382-020-05549-z)*



3. Reducción de Escala (Downscaling)

Aprendizaje Automático en Conjuntos de Proyecciones Climáticas

- A diferencia de la regresión tradicional, los algoritmos de aprendizaje automático (Machine learning o ML) automatizan el proceso de mejoramiento de los modelos.
- Permite formular predicciones más precisas a lo largo del tiempo según el modelo “aprende” y cambia de manera dinámica después de cada iteración.



Ejemplo de un Esquema para Predecir el Clima Futuro Usando Datos de Observaciones, Modelos Climáticos y Algoritmos de Aprendizaje Automático

De Anochi et al., 2021, Figura 2 (doi:10.3390/rs13132468)

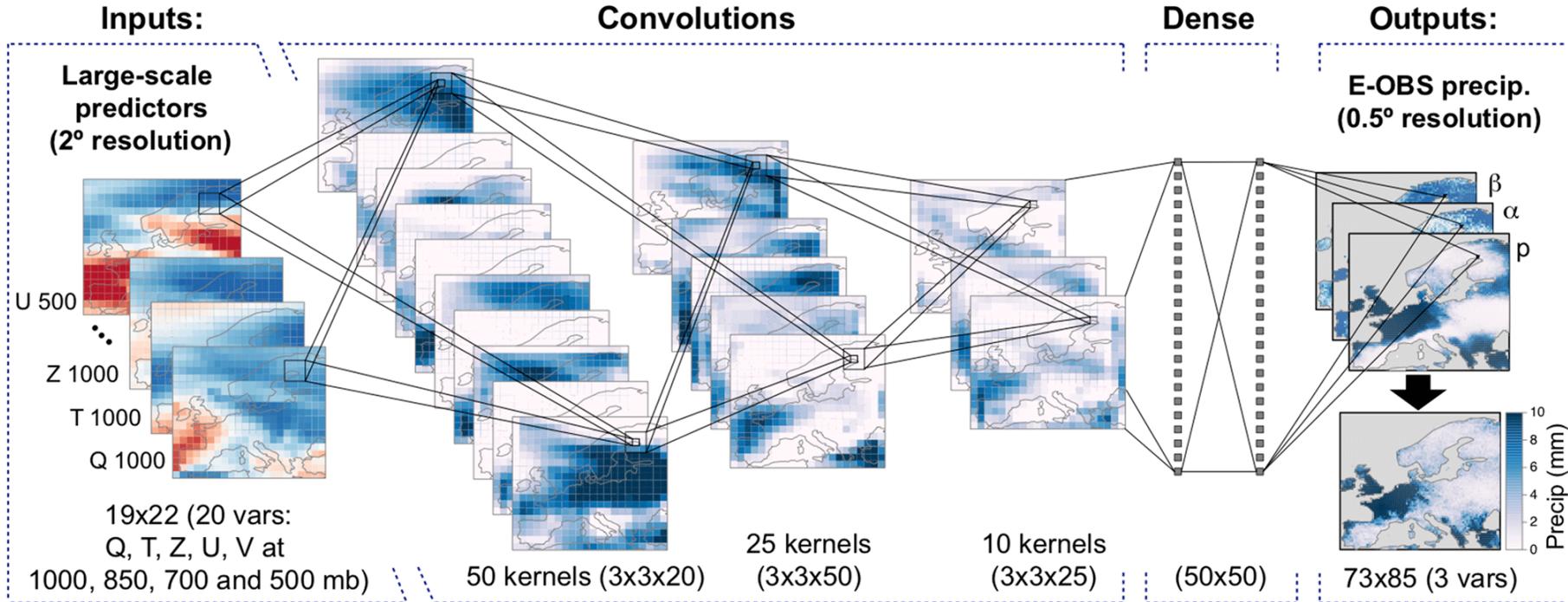


3. Reducción de escala (Downscaling)

Métodos de Aprendizaje Automático

Entradas (predictores):
Cinco variables a cuatro niveles de presión

Convoluciones (capas ocultas):
50, 25, o 10 neuronas (kernels) en una cuadrícula 3x3



Capas "densas"
(completamente conectadas adicionales)

Salidas: La red estima la probabilidad de lluvia basada en la forma (α) y escala (β) de la distribución gamma

Red Neuronal Convolutiva Utilizada para Reducir la Escala de la Precipitación en Europa en ERA-Interim

Usando el Conjunto de Observaciones E-OBS v14

De Baño-Medina et al., 2020, Figura 3 (doi:10.5194/gmd-13-2109-2020)



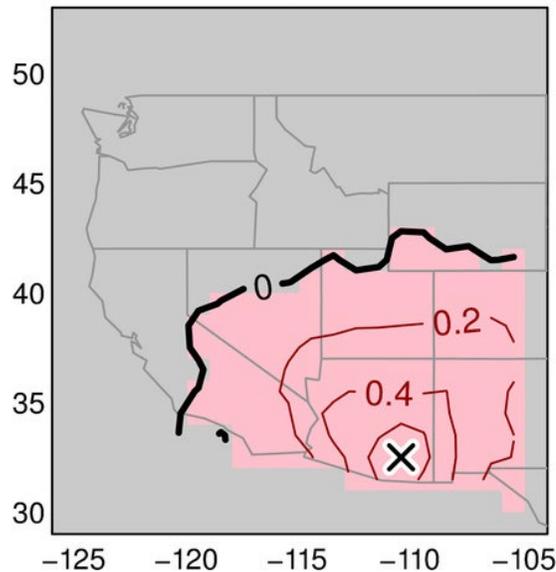
3. Reducción de Escala (Downscaling)

Enfoques Analógicos (p.ej., Localized Constructed Analog - LOCA)

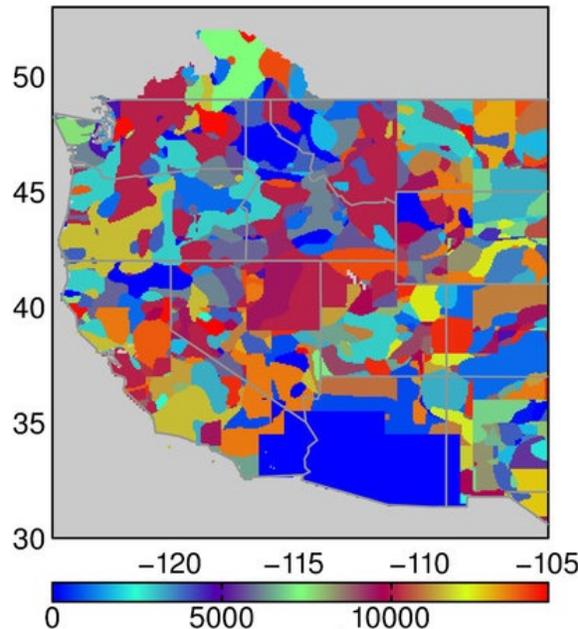
Paso 1: Para cada punto, encontrar 30 días en los datos de observaciones que mejor coincidan con el modelo en la región alrededor del punto cuya escala se va a reducir

Paso 2: Identificar el mejor día de entre los 30 que mejor cuadra con la región inmediata del punto objetivo de la reducción de escala

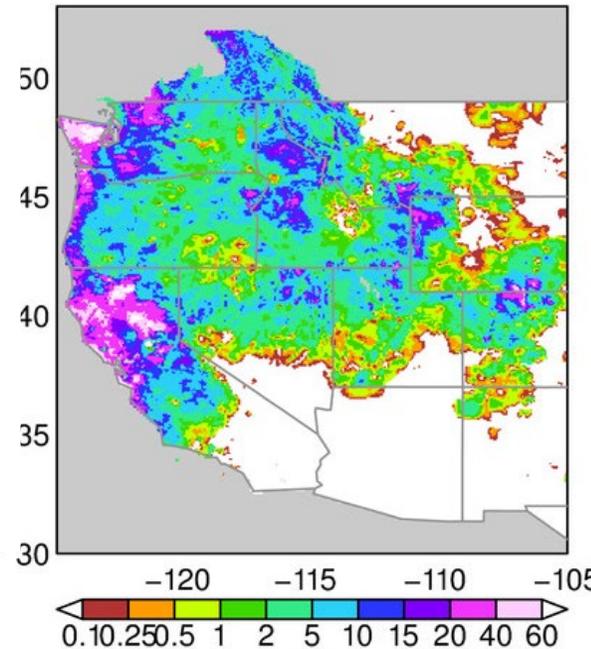
Paso 3: Encontrar el mejor de los 30 días analógicos en la región inmediata al minimizar RMSE con un modelo



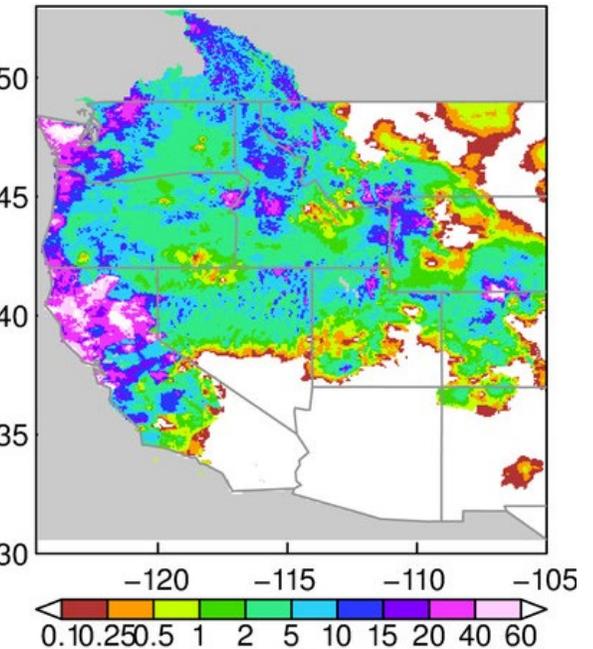
Ejemplar de máscara para un punto X para precipitación estacional JJA en EE.UU. occidental



Número de día analógico como fecha íntegra empezando el 1ro de enero de 1970 y terminando el 31 de diciembre de 2010



Precipitación en Escala Reducida para el 1ro de enero de 1940 en EE.UU. occidental

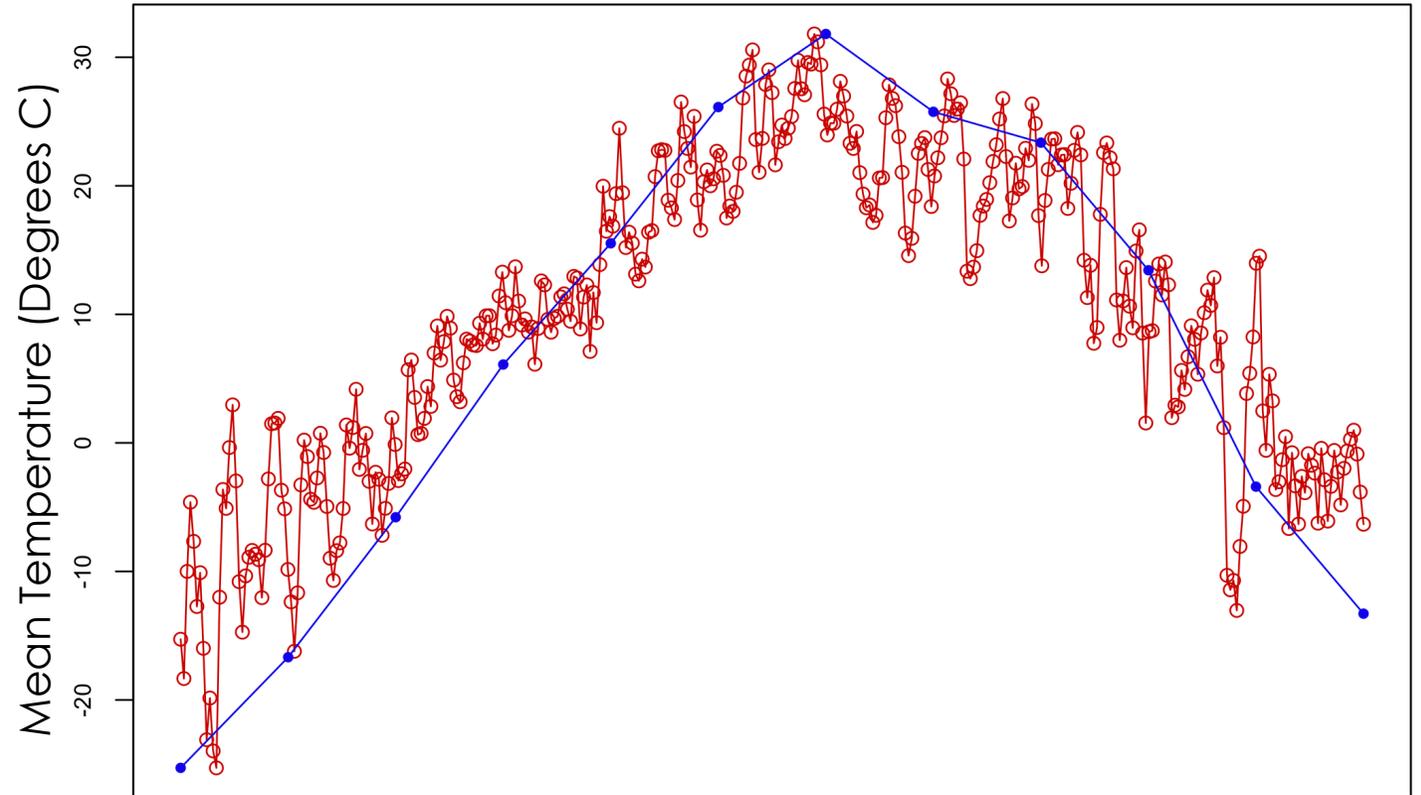


Precipitación Observada para el 1ro de enero de 1940 (Producto Livneh)



4. Resolución Temporal

- Resolución temporal de las salidas comprensivas más finas disponibles
- Ejemplos:
 - **Decadal**
 - **Anual**
 - **Mensual**
 - **Diaria**
 - **Sub-Diaria**
- La resolución temporal ayuda a determinar qué tipos de extremos uno podría evaluar.



NEX-GDDPv6 GISS E2.1-G
Temperatura Media en Ames, Iowa EE.UU. para
2014 (histórica)
Intervalo Diario vs. Mensual



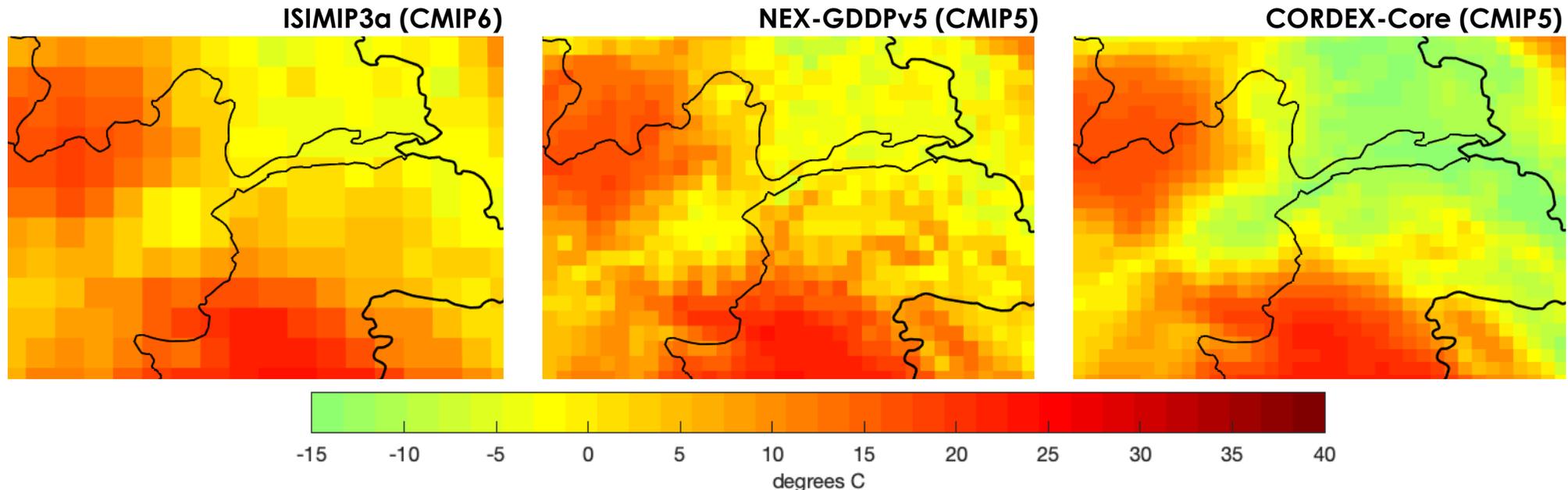
5. Resolución Espacial

- La resolución espacial típica (p.ej., el ancho de una celda de cuadrícula) de las salidas comprensivas más finas disponibles
- Note que una resolución más fina no corresponde necesariamente con información de calidad más alta

Temperatura Anua Media para la Cuenca del Río Panj-Amu en Afganistán

a partir de la media de un ensamble de GCMs en tres conjuntos de proyecciones climáticas

Ruane et al., en preparación para Wildlife Conservation Society

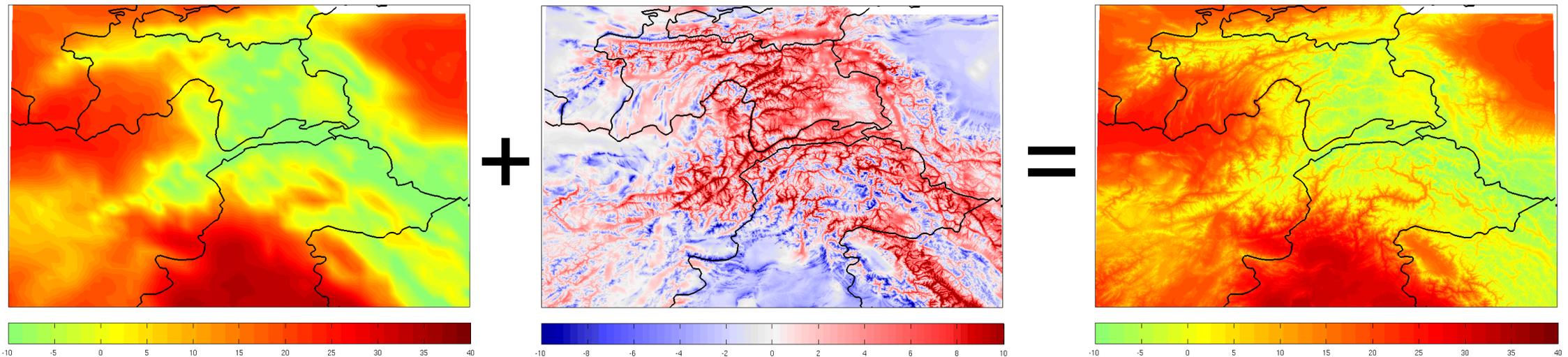


6. Post-Procesamiento

- Describe los métodos que se aplican para conectar simulaciones con condiciones observadas
- Ejemplos:
 - **Corrección de Sesgos:** Las salidas se ajustan para cuadrar con estadísticas de condiciones observadas en un período histórico
 - Basada en conjuntos de datos de observaciones de alta calidad
 - Una variedad de metodologías estadísticas y de aprendizaje automático

Ajuste de Sesgos CORDEX-Core de la Temperatura de Mayo de la Cuenca del Río Panj-Amu

Ruane et al., en preparación para la Wildlife Conservation Society



Temperatura (C) de Mayo 2010
CORDEX-Core MPI-ESM-LR REMO2015

Diferencia Temperatura CHELSA de Mayo
–
Temperatura de Mayo (1979-2013)
CORDEX-Core MPI-ESM-LR REMO2015

Temperatura de Mayo (C) con Ajuste
de Sesgos CORDEX-Core
MPI-ESM-LR REMO2015



6. Post-Procesamiento

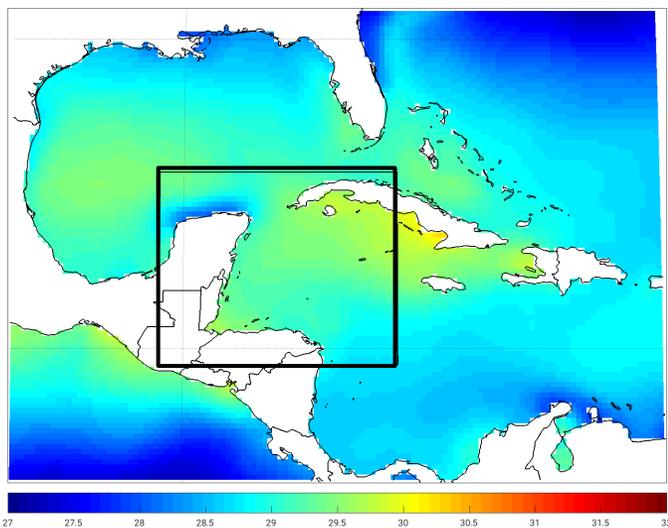
Expansión de la Distribución

En vez de ajustar las salidas del modelo para que sean más similares a las observaciones, algunas proyecciones se crean ajustando las observaciones para que sean más parecidas al cambio climático:

- **Método Delta:** Combina cambios proyectados en medias climáticas con datos observados
- **Escalado Avanzado:** Combina cambios proyectados en los parámetros de distribución climática (p.ej. media, desviación del estándar, factor *gamma*) con datos observados

Método Delta de Ajustar GISS E2.1-G SSTs en el Arrecife Mesoamericano

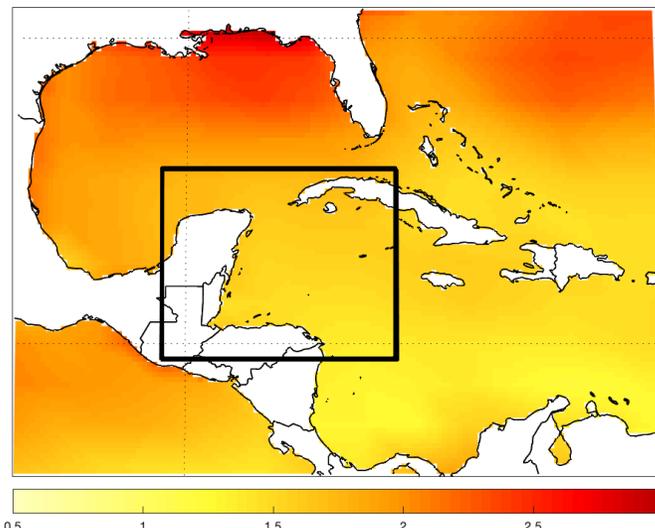
Phillips et al., en preparación



Temperaturas Superficiales Marinas (SSTs)
Medias de Septiembre de MERRA-2
1980-2009 (grados C)

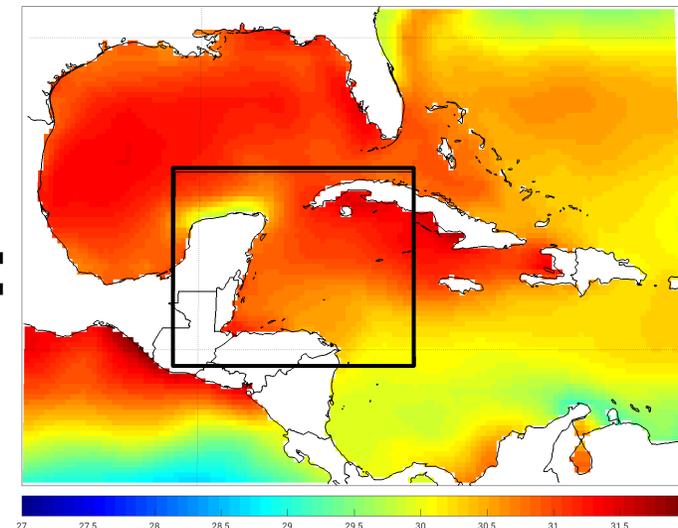
NASA's Applied Remote Sensing Training Program

+



Aumento de SSTs de septiembre GISS
E2.1-G SSP5-8.5 2050-2059

=



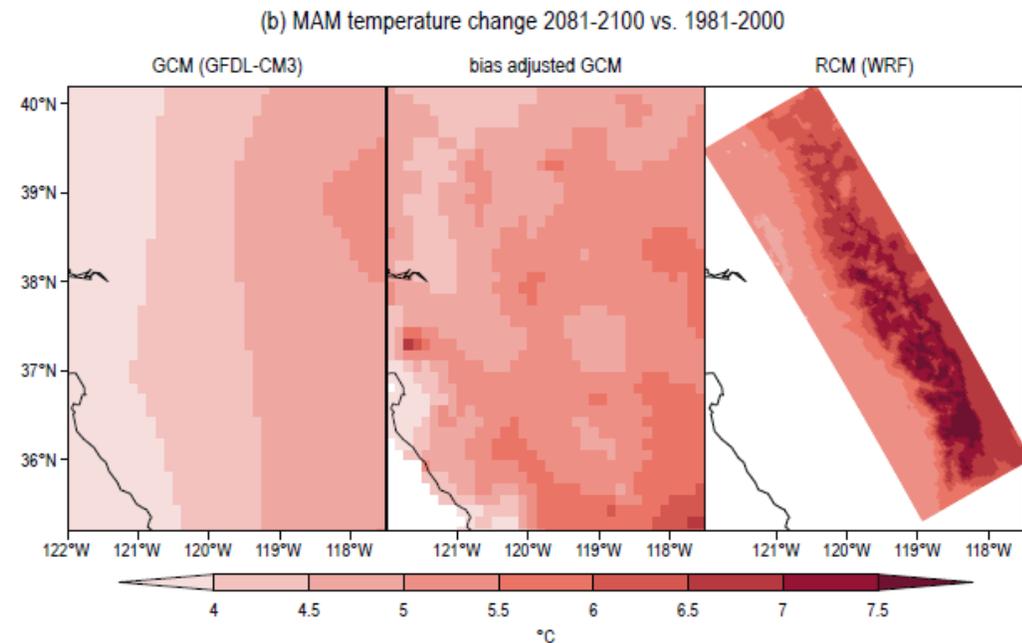
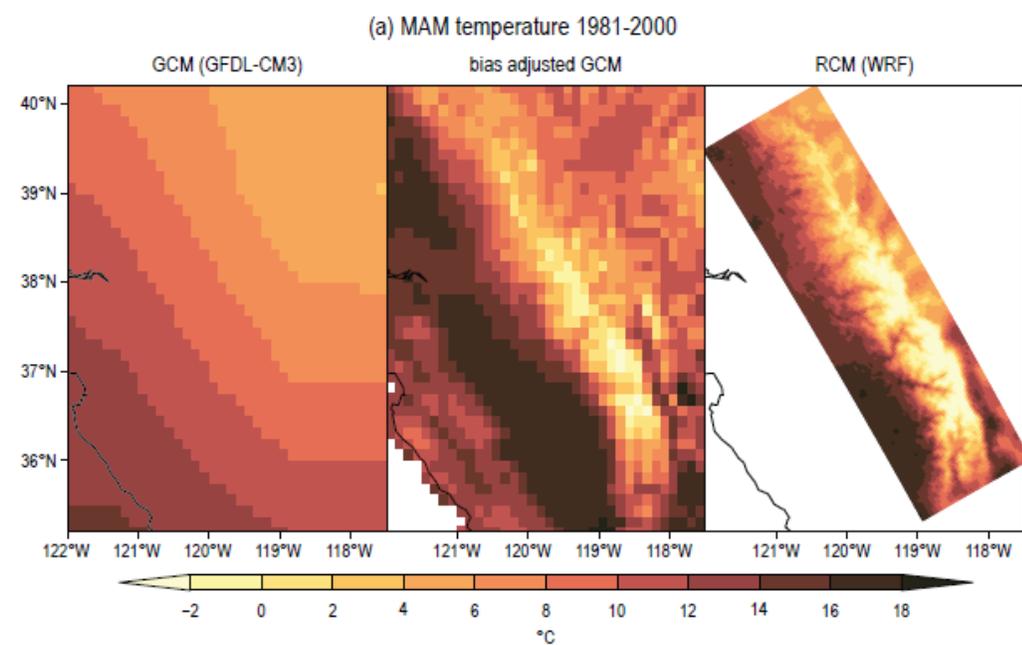
SSTs Medias de Septiembre GISS E2.1-G
2050-2059 bajo SSP5-8.5 (grados C)

See also Ruane et al., 2015 (doi:10.1142/9781783265640_0003) for AgMIP crop modeling approaches



Corrección de Sesgos vs. Reducción de Escala

- La corrección de sesgos puede imponer características observadas, pero no necesariamente captura la interacción entre esas características y el cambio climático.



Temperatura Diaria Media en la Región de la Sierra Nevada en California

IPCC AR6 WGI Chapter 10: Box 10.2



6. Post-Procesamiento

Canales Emergentes que Involucran Múltiples Enfoques para Alcanzar un Objetivo

- El capítulo 10 de IPCC AR6 WGI notó varios enfoques que pueden combinar muchos métodos en proyecciones locales (*aún poco común*).

Dinámico:

- Modelos Globales
- Modelos Regionales
- Modelos Adicionalmente Jerarquizados

Estadístico:

- Corrección de Sesgos
- Perfect Prognosis
(Establece relaciones entre las condiciones a gran escala y las observaciones)
- Weather Generators
(Crea un número elevado de iteraciones meteorológicas artificiales)

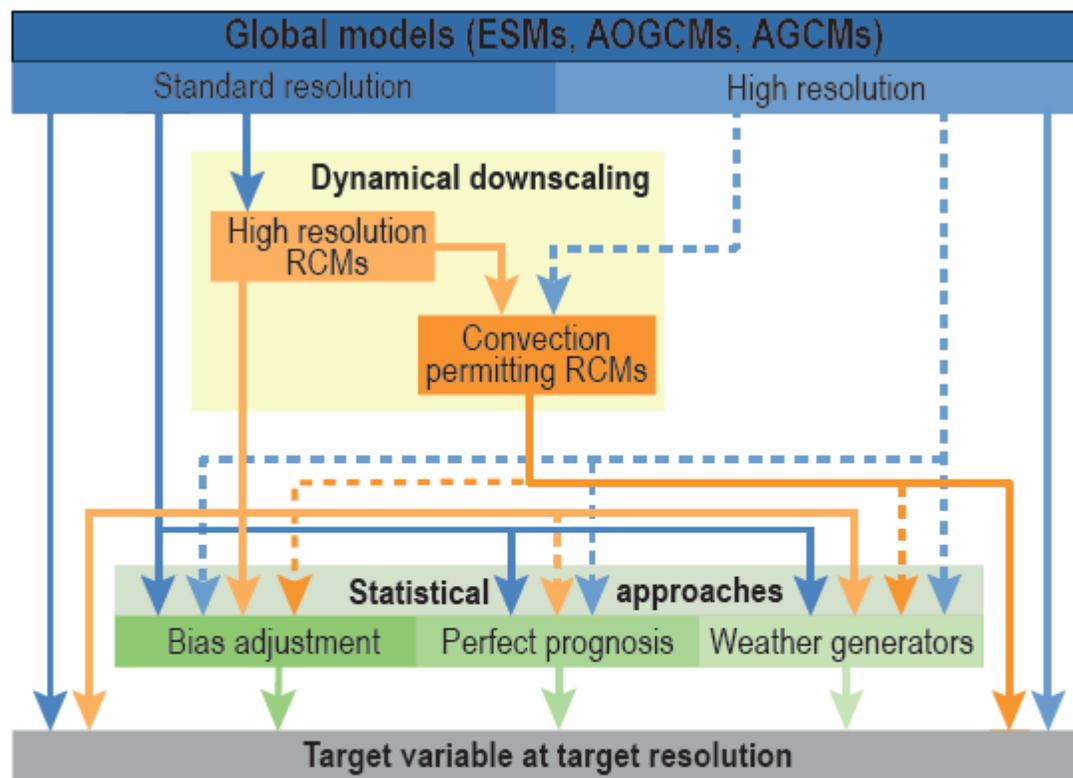
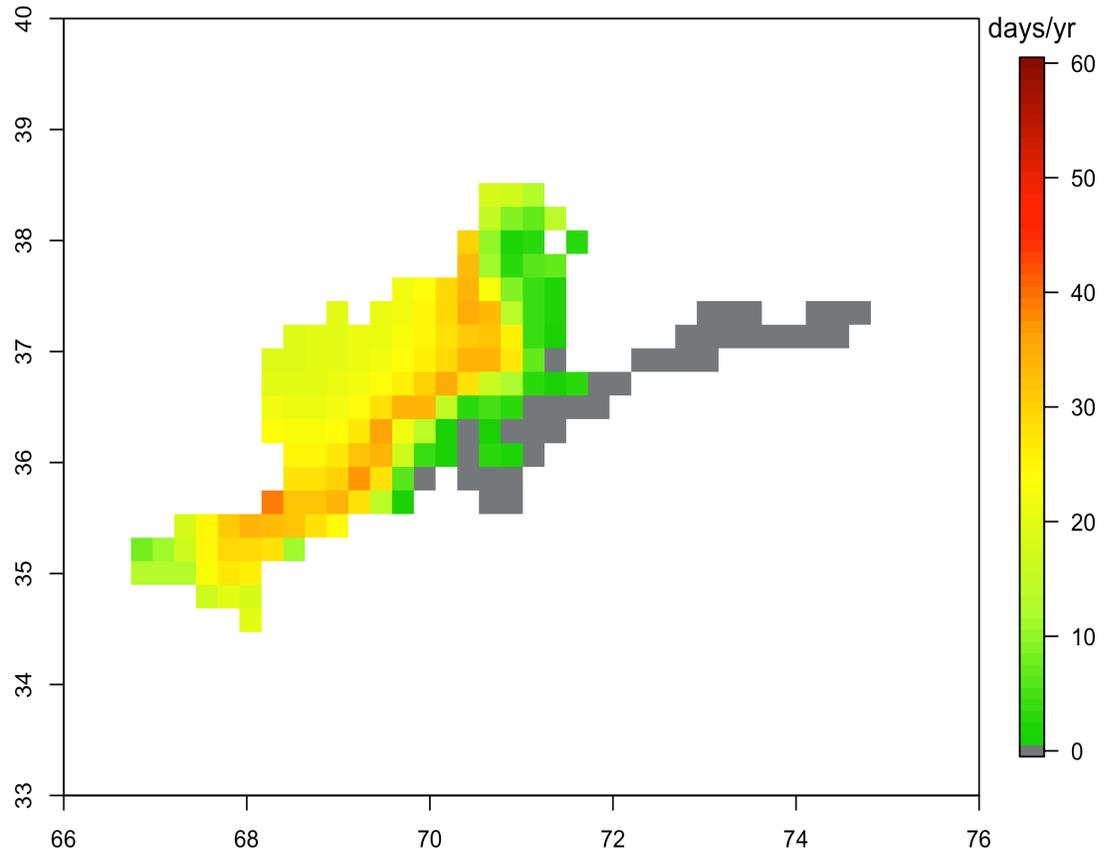


Figure 10.5 | Typical model types and chains used in modelling regional climate. The dashed lines indicate model chains that might prove useful but have not or only rarely been used. Hybrid approaches combining the model types shown have been developed.



7. Variables “Listas para Aplicaciones” Disponibles

- Describe las variables disponibles para aplicaciones (de entre las 100s disponibles de las salidas de ESMs)
- Ejemplos de Conjuntos Comunes:
 - **Temperatura y Precipitación:** El conjunto de datos mínimos más común para aplicaciones de cambio climático.
 - **Extremos Climáticos:** Información mejorada sobre eventos climáticos extremos, posiblemente incluya calor o frío extremo, sequías, inundaciones y tormentas severas.
 - **Energía:** Información sobre balances energéticos de radiación de onda corta y larga en la superficie.



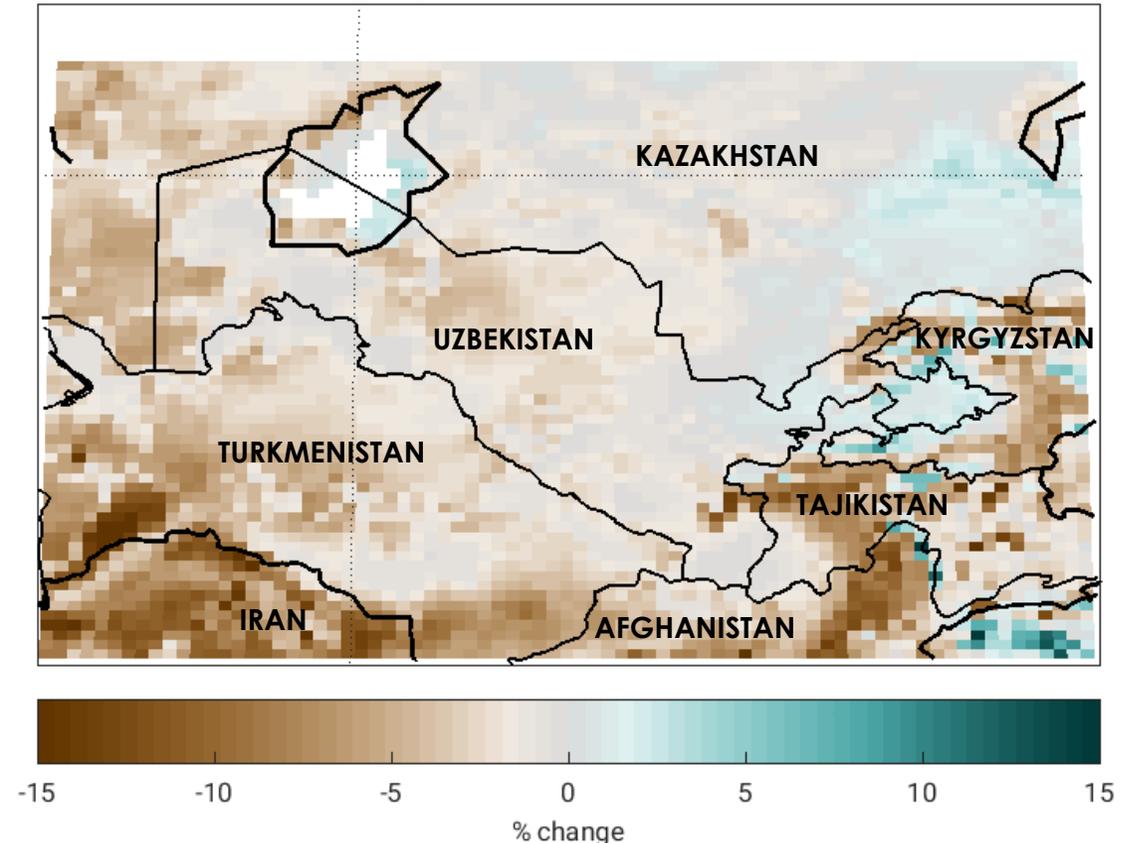
Cambios CORDEX-Core en los Días de Calor Elevado (>25C) al Año en la Cuenca del Río Panj-Amu en Afganistán en el Período de Medios del Siglo (2040-2069) Bajo RCP8.5

Ruane et al., en preparación para la Wildlife Conservation Society



7. Variables “Listas para Aplicaciones” Disponibles

- Ejemplos:
 - **Hidrología y Suelos:** Información mejorada sobre el ciclo hidrológico, posiblemente incluya información mejorada sobre la humedad del suelo, escorrentía, flujos de ríos y evapotranspiración.
 - **Nieve y Hielo:** Incluye condiciones criosféricas como nieve acumulada, glaciares, permafrost y hielo marino o de agua dulce.
 - **Peligros Marinos:** Incluye variables oceánicas como temperatura y estructura oceánicas, olas de calor marinas y química oceánica (salinidad, oxígeno, o acidificación).



Cambios CORDEX-Core Change en la Humedad del Suelo Media para la Temporada de Algodón de Secano en Uzbekistán para finales del siglo (2070-2099 -- RCP8.5)

De Mel et al., en preparación para el United Nations Development Programme



Resumen de la 1^{ra} Parte:

- **Las áreas de aplicaciones de mitigación, adaptación y riesgos tienen distintos contextos.**
- **Los conjuntos de proyecciones climáticas provienen de modelos climáticos y están orientados hacia la toma de decisiones.**
- **Características clave de un conjunto de proyecciones climáticas:**
 1. Modelos climáticos globales
 2. Escenarios y tramas
 3. Reducción de Escalas
 4. Resolución Temporal
 5. Resolución Espacial
 6. Post-Procesamiento
 7. Variables “Listas para Aplicaciones”
- **La 2^{da} Parte describirá consideraciones al momento de elegir un conjunto de proyecciones para una aplicación determinada.**





Selección de Conjuntos de Proyecciones Climáticas para Aplicaciones de Mitigación, Adaptación y Gestión del Riesgo

Alex Ruane y Meridel Phillips, Instituto para Estudios Espaciales NASA Goddard, Nueva York EE.UU.

1^{ra} Parte: 19 de septiembre de 2022

2^{da} Parte: 20 de septiembre de 2022





2^{da} Parte: ¿Cómo elegir un conjunto de proyecciones para su aplicación?

Objetivos para esta Sesión de ARSET

¿Cómo seleccionamos un conjunto de proyecciones climáticas para usar en nuestra aplicación de mitigación, adaptación o gestión del riesgo?

1ª Parte: ¿Qué hace los conjuntos de proyecciones diferentes?

- Contexto de las áreas de aplicación (mitigación, adaptación, riesgo)
- De dónde provienen los conjuntos de proyecciones climáticas
- Características distintivas clave

2ª Parte: ¿Cómo se elige un conjunto de proyecciones para las aplicaciones de uno?

- Alineación de las características del conjunto de proyecciones con las necesidades de una aplicación determinada
- Ventaja de usar versiones más actualizadas
- Compromisos en el uso de conjuntos de proyecciones más complejos
- Materiales de apoyo que hacen que un conjuntos de proyecciones sea más atractivo



Resumen de la 1^{ra} Parte:

- **Las áreas de aplicaciones de mitigación, adaptación y riesgos tienen distintos contextos.**
- **Los conjuntos de proyecciones climáticas provienen de modelos climáticos y están orientados hacia la toma de decisiones.**
- **Características clave de un conjunto de proyecciones climáticas:**
 1. Modelos climáticos globales
 2. Escenarios y tramas
 3. Reducción de Escalas
 4. Resolución Temporal
 5. Resolución Espacial
 6. Post-Procesamiento
 7. Variables “Listas para Aplicaciones”
- **La 2^{da} Parte describirá consideraciones al momento de elegir un conjunto de proyecciones para una aplicación determinada.**





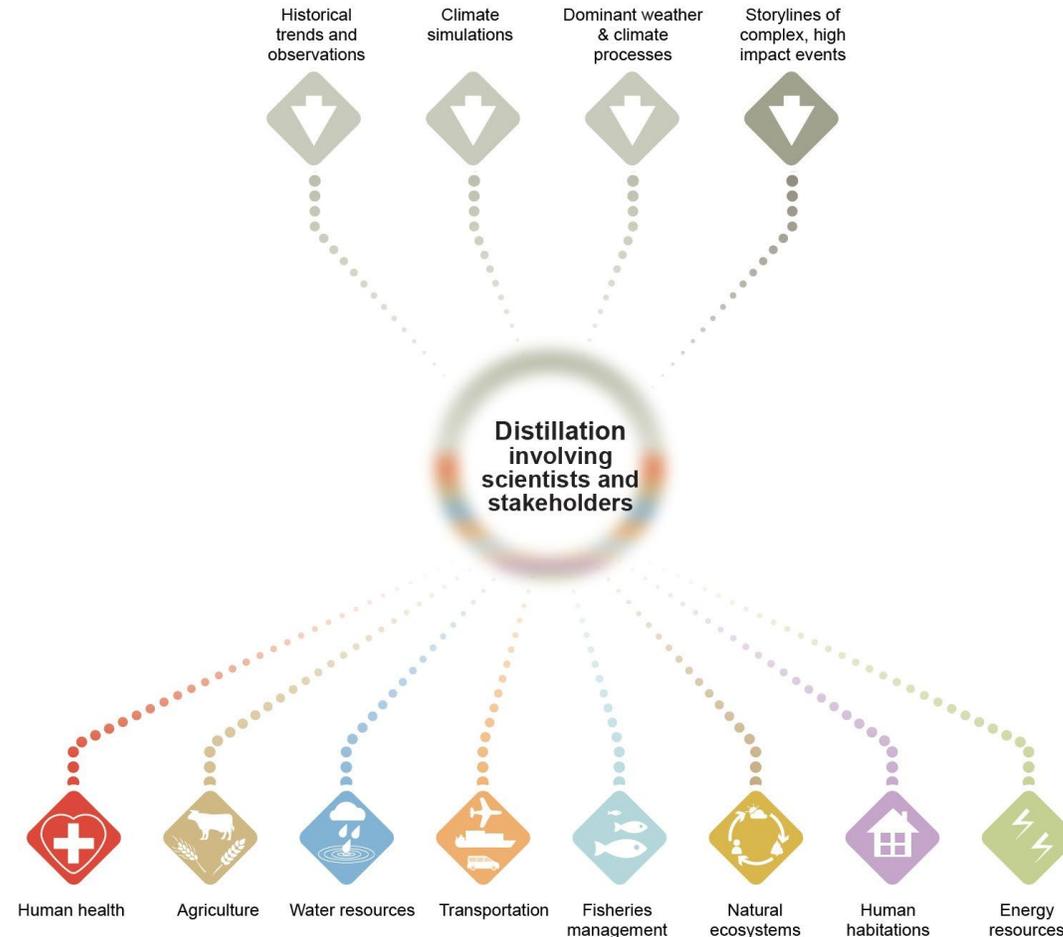
Alinear las Características de un Conjunto de
Proyecciones con las Necesidades de una
Aplicación Determinada

La Participación de las Partes Interesadas en un Proceso de Co-Desarrollo es Clave

- Conectar con las vulnerabilidades de sistema y el proceso de decisión
- Reconocer los valores y motivaciones de todos los participantes

FAQ 10.1: How can scientists provide useful regional climate information?

In decision-making, climate information is more useful if the physical and cultural diversity across the world is considered.



Información Climática para Decisores

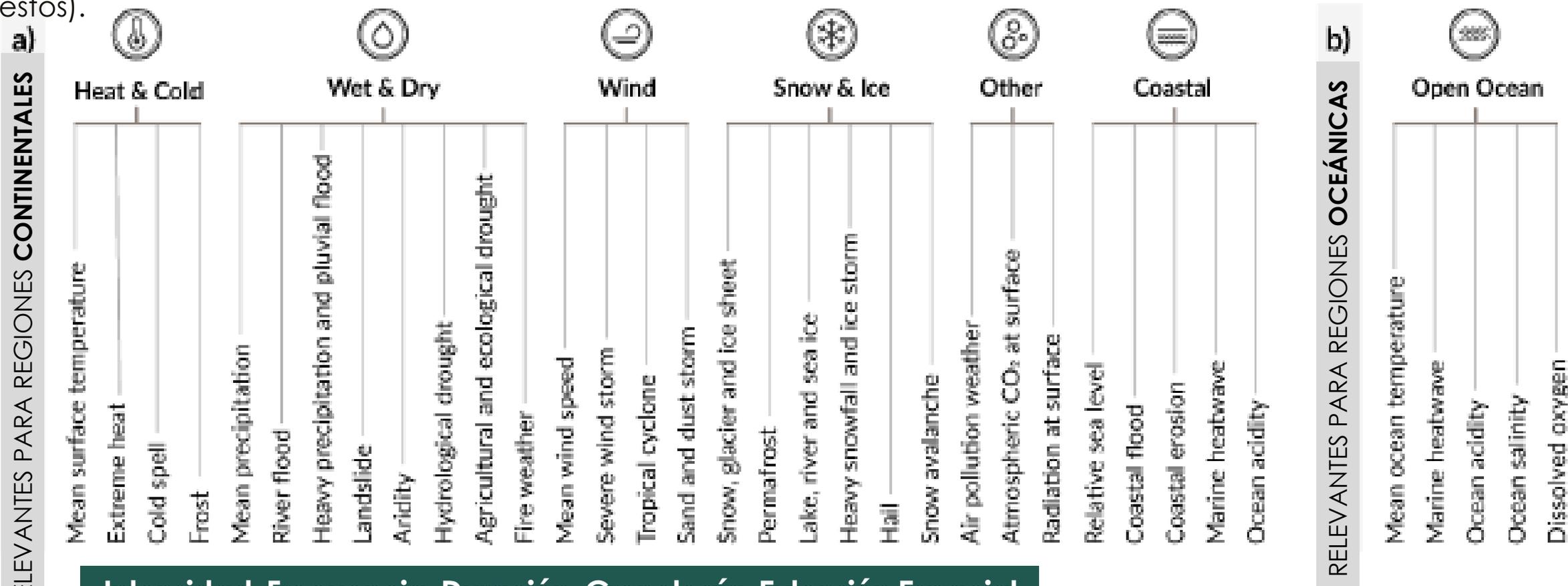
Doblas-Reyes et al., (2021)
IPCC AR6 WGI FAQ10.1



Determinar Qué Información Climática es Útil

Un **climatic impact-driver*** (CID) es una condición climática que afecta directamente algún elemento de la sociedad o los ecosistemas.

Los CIDs y sus cambios pueden ocasionar resultados positivos, negativos, o intrascendentes (o una mezcla de estos).



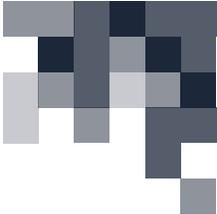
Intensidad, Frecuencia, Duración, Cronología, Extensión Espacial

*Climate impact driver = impulsor de impacto climático en inglés

Adaptado de IPCC WGI (2021)
Figura SPM.9; ver también WGI Capítulo 12



Identificación de Climatic Impact-drivers (CIDs) Relevantes



		Climatic Impact-driver																																	
		Heat and Cold				Wet and Dry							Wind			Snow and Ice					Coastal		Open Ocean				Other								
Sector	Asset	Mean air temperature	Extreme heat	Cold spell	Frost	Mean precipitation	River flood	Heavy precipitation and pluvial flood	Landslide	Aridity	Hydrological drought	Agricultural and ecological drought	Fire weather	Mean wind speed	Severe wind storm	Tropical cyclone	Sand and dust storm	Snow, glacier and ice sheet	Permafrost	Lake, river and sea ice	Heavy snowfall and ice storm	Hail	Snow avalanche	Relative sea level	Coastal flood	Coastal erosion	Mean ocean temperature	Marine heatwave	Ocean acidity	Ocean salinity	Dissolved oxygen	Air pollution weather	Atmospheric CO ₂ at surface	Radiation at surface	
		Food, Fibre and Other Ecosystem Products (WGII Chapter 5)	Crop systems	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High
Livestock and pasture systems	High		High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High
Forestry systems	High		High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High
Fisheries and aquaculture systems	High		High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High



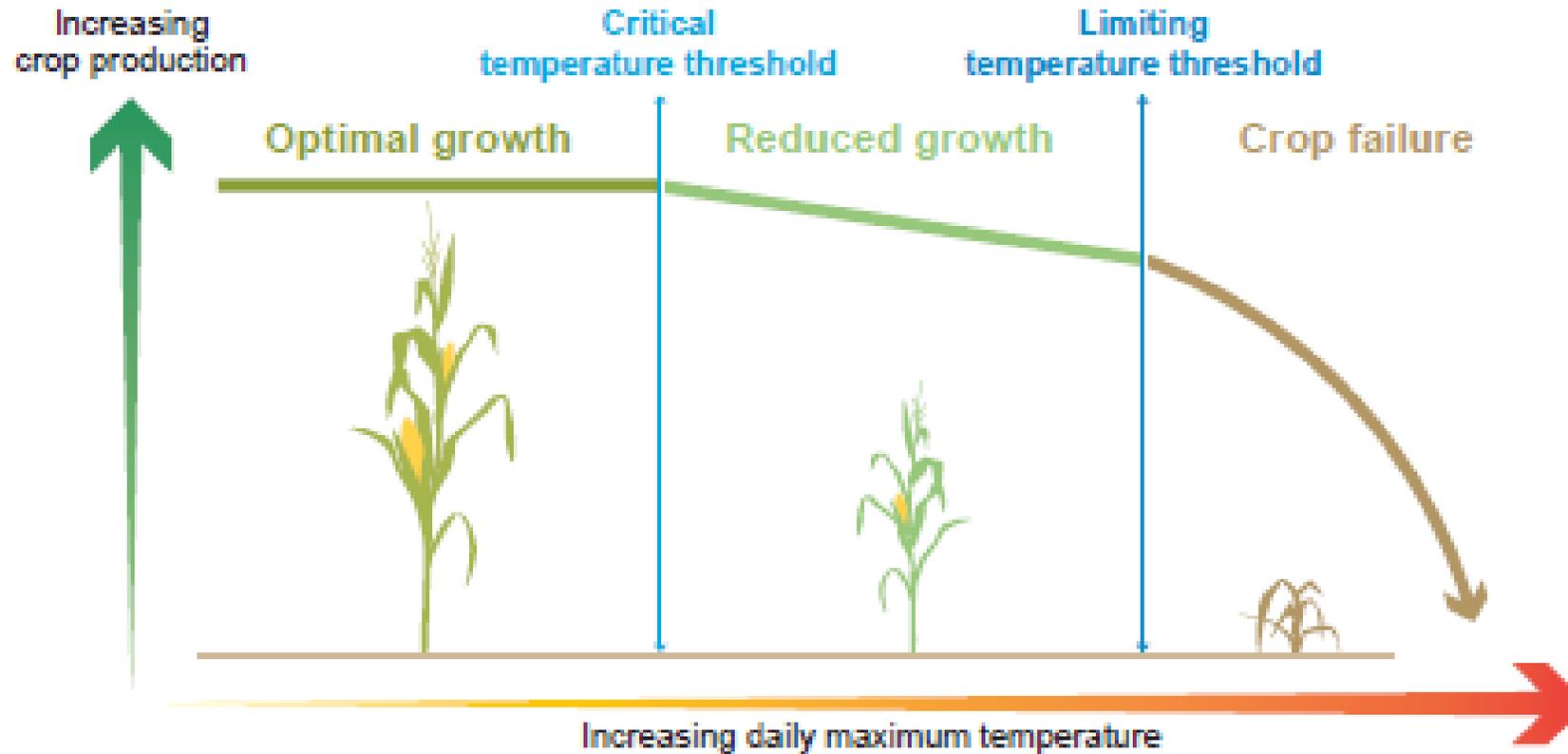
También es importante notar lo que NO está incluido en un conjunto de datos determinado

IPCC AR6 WGI Capítulo 12

Tabla 12.2
Ranasinghe et al. (2021)



Identificación de Índices de Climatic Impact-Drivers (CID)

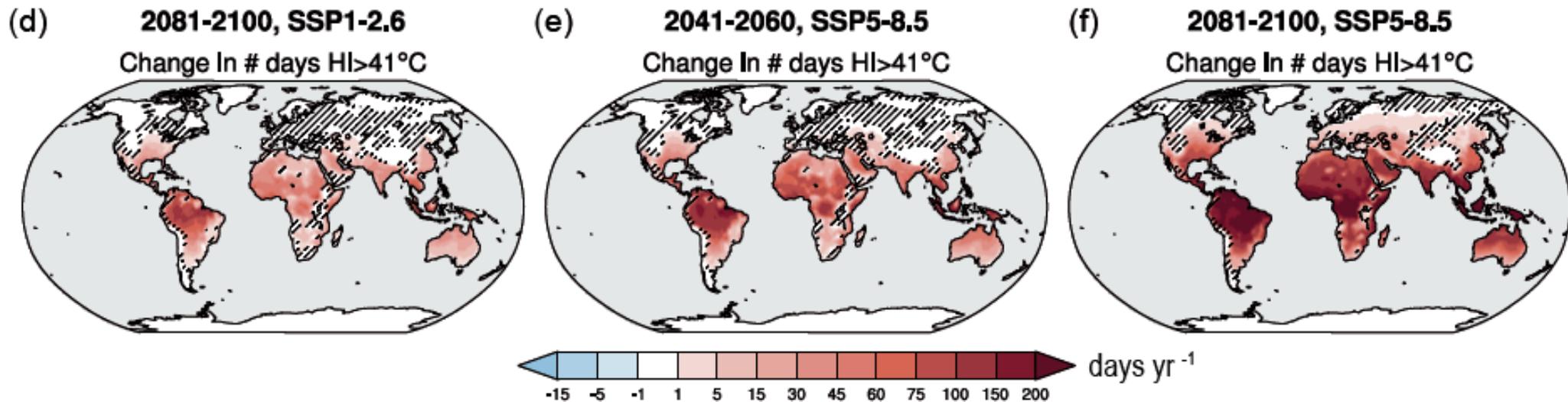


FAQ 12.2, Figure 1 | Crop response to maximum temperature thresholds. Crop growth rate responds to daily maximum temperature increases, leading to reduced growth and crop failure as temperatures exceed critical and limiting temperature thresholds, respectively. Note that changes in other environmental factors (such as carbon dioxide and water) may increase the tolerance of plants to increasing temperatures.



Cómo Identificar las Necesidades de una Aplicación

- Las aplicaciones más especializadas puede que requieran **características de proyecciones personalizadas**.
- La disponibilidad de variables críticas para impulsar un modelo de impactos.
 - La reacción con **umbrales relevantes al sector** es de particular importancia.



Días por encima del índice de calor NOAA > 41°C , el cual es peligroso para hacer ejercicios, trabajar en construcción o labores agrícolas al aire libre.

Fuente: IPCC AR6 WGI CH12; Ranasinghe et al. (2021) Figura 12.4



Alinear con Información Científica que Posibilitará Decisiones

- **Escala de Análisis:**

- ¿Se necesitan proyecciones para una ubicación puntual o para un espacio más grande?
 - Los análisis en base a ubicaciones puntuales pueden permitir metodologías más complejas dada la reducción de cobertura espacial.

- **Calidad de Observaciones Locales:**

- ¿La región de la aplicación es rica en datos, o estos son escasos ahí?
 - Las técnicas de ajuste de sesgos funcionan mejor donde hay muchas observaciones.

- **Uso de Modelos de Impactos Adicionales:**

- ¿Las proyecciones están diseñadas para calcular índices de climatic impact-drivers singulares o para impulsar un modelo de impactos más complejo?
 - Los modelos de impactos requieren más coherencia a lo largo del espacio, tiempo y variables.





Ventajas de Usar las Versiones Más
Actualizadas

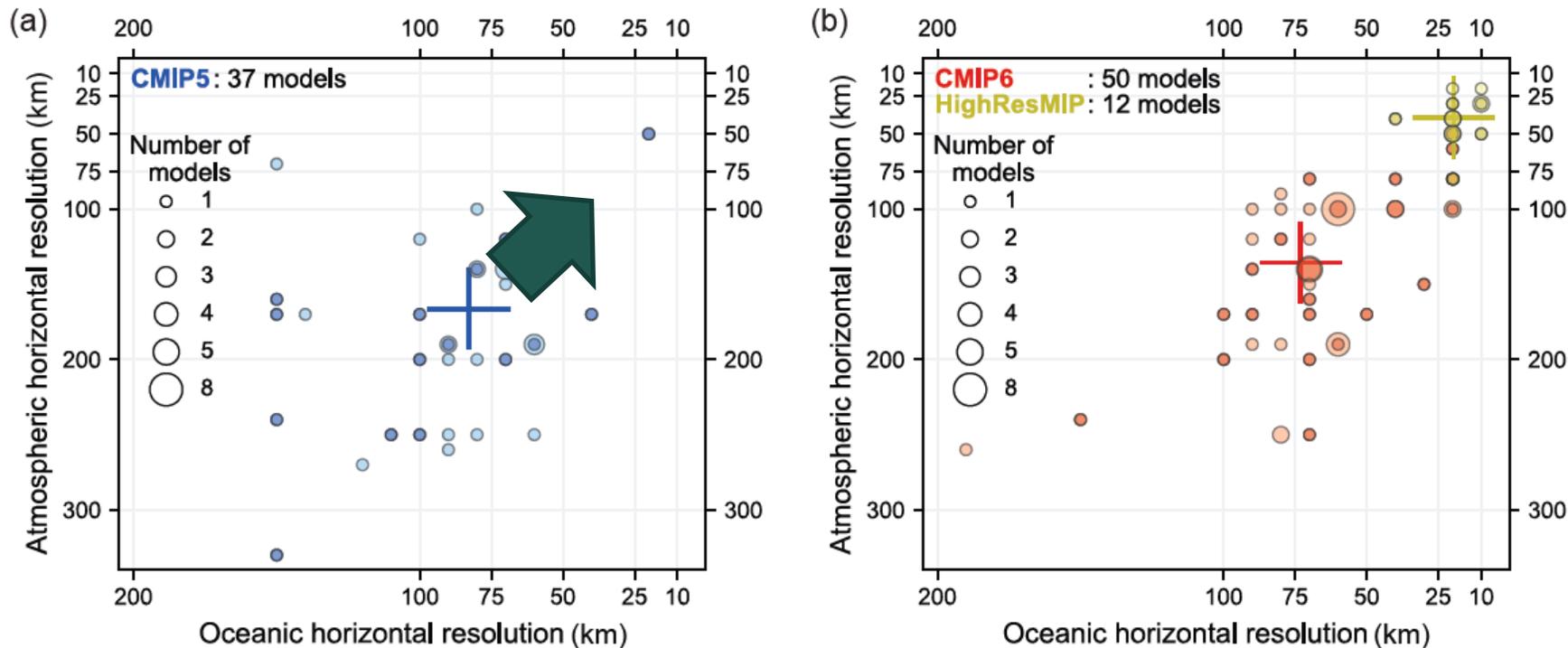
Beneficios de Usar Versiones Actualizadas

- **Ha habido mejoras significativas con el pasar del tiempo en todos los aspectos de las proyecciones climáticas:**
 1. Modelos Climáticos Globales
 2. Escenarios y Tramas
 3. Reducción de Escala
 4. Resolución Temporal
 5. Resolución Espacial
 6. Post-Procesamiento
 7. Variables 'Listas para Aplicaciones'



Mejorías Sustanciales en Modelos Climáticos

- **Procure usar CMIP6 en vez de CMIP5; evite CMIP3 o modelos más antiguos**
- Resolución espacial mejorada
- Representación de la física y de procesos mejorada
- Modelos adicionales con más información diagnóstica



IPCC AR6 WGI CH1
Chen et al. (2021)
Figura 1.19



Mejorías Sustanciales en Escenarios y Tramas

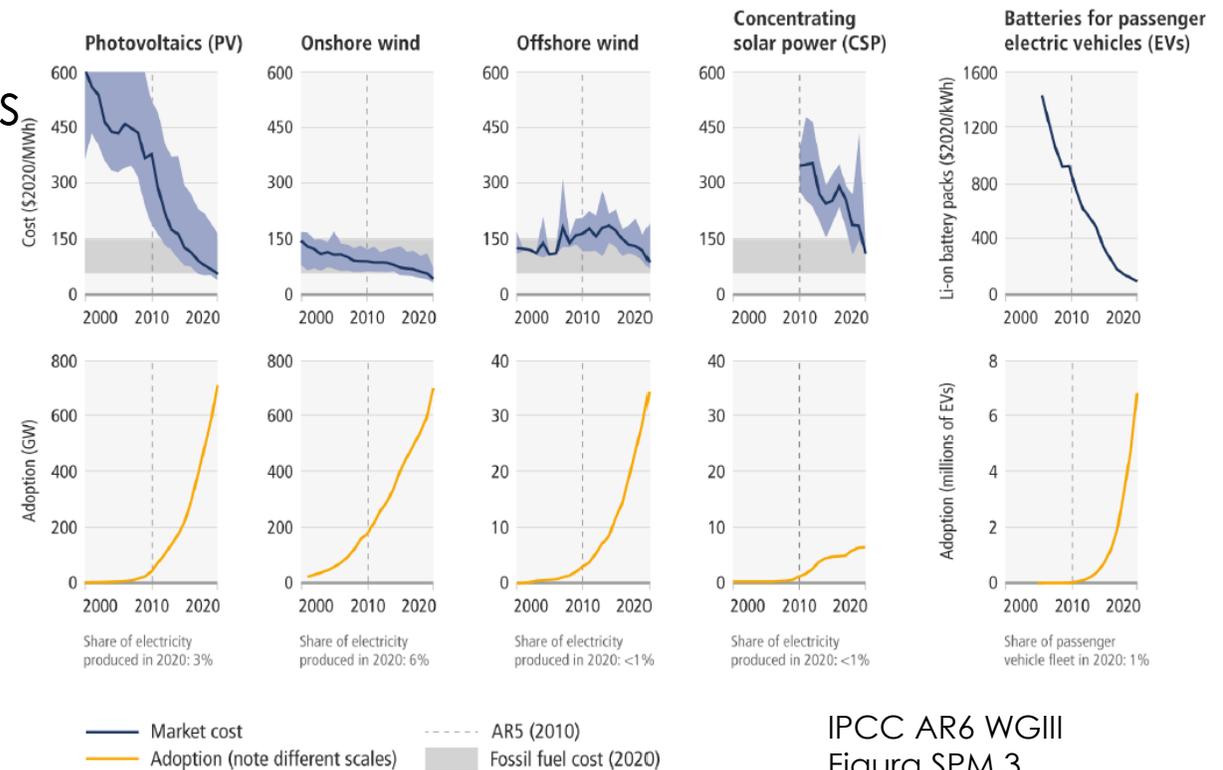
- **Procure usar Global Warming Levels (GWLs) y SSP-RCPs, no RCPs o SRES**
- La comunidad de escenarios rastrea muchos aspectos de la sociedad que interactúan de manera dinámica
- Ha habido grandes cambios tecnológicos y crecimiento socioeconómico en las últimas décadas

The unit costs of some forms of renewable energy and of batteries for passenger EVs have fallen, and their use continues to rise.

- **Eventos imprevistos:**

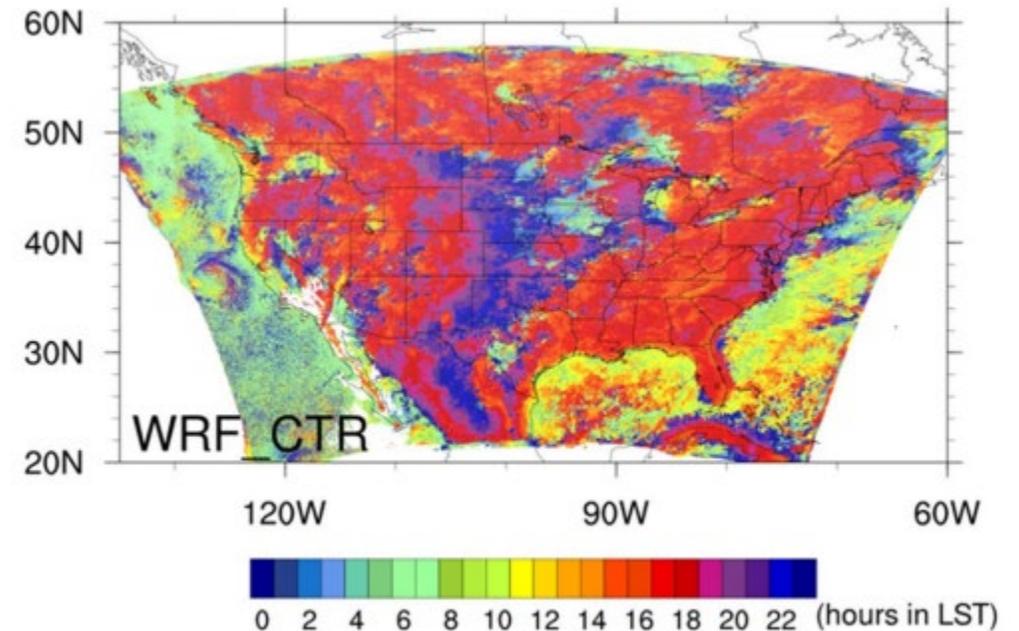
- El 11 de septiembre vino después de los escenarios de SRES
- Acuerdo de París (2015)
- COVID-19
- Conflicto en Ucrania
- Reducción dramática de los costos de la tecnología verde:

- **Enfoque renovado en GWLs**



Mejoría Sustancial en la Reducción de Escala

- **Busque modelos conectados con campañas fuertes de benchmarking? e intercomparación.**
- El Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX) ha facilitado metodologías de ensambles multi-modelo [*más sobre esto en una diapositiva posterior*].
- Emergencia de modelos que resuelven la convección



Hora del día para Máxima Precipitación Diurna (Período histórico – junio)
Simulación de Modelo 4km Weather Research and Forecasting (WRF)
de Sciff et al., 2020 (doi:10.1007/s00382-019-04754-9)



Ventajas en Cuanto a Resolución Temporal y Espacial

Es más probable que los conjuntos de proyecciones nuevos tengan información de alta resolución.

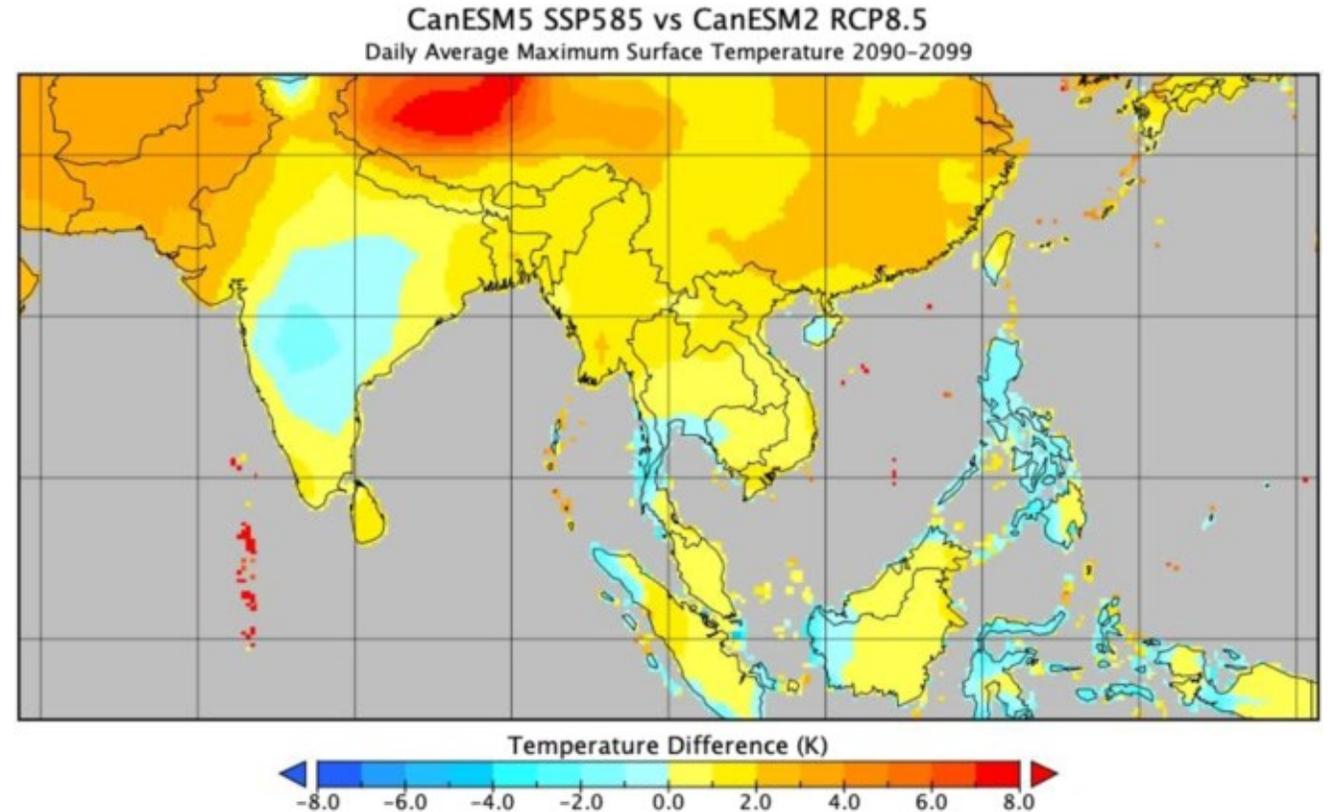
- Más modelos y miembros de ensambles han proporcionado salidas diarias y de cada hora.
- Las resoluciones espaciales también van en aumento para modelos, reducción de escala, y metodologías de ajuste de sesgos.



Ventajas en el Post-Procesamiento y el Ajuste de Sesgos

Las técnicas de ajuste de sesgos están mejorando con mejores métodos, conjuntos de datos y potencia computacional.

- Nueva metodología para mantener coherencia entre variables complejas
- Nuevos métodos para mantener tendencias en el ajuste de sesgos
- Mejorías en los conjuntos de datos de observaciones subyacentes



Diferencia de Temperatura Máxima Diaria a Fines de Siglo entre NEX-GDDP-CMIP5 vs. NEX-GDDP-CMIP6 (CanESM)
de Thrasher et al., 2022 (doi:10.1038/s41597-022-01393-4)



Avances en Variables Listas para Aplicaciones

Más grupos de modelación y conjuntos de proyectos han hecho más variables disponibles.

- Más conjuntos de proyecciones incluyen información más allá de temperatura y precipitación.
- Algunos grupos de impacto sectorial han desarrollado paquetes de variables para aplicaciones específicas.
 - La junta “Vulnerability, Impacts, Adaptation, and Climate Services (VIACS) Advisory Board” en CMIP6
 - El proyecto “Inter-Sectoral Impacts Model Intercomparison Project” (ISIMIP)
 - *[Más sobre esto después]*
 - El proyecto “Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project” (AgMIP)
 - Además, más esfuerzos comunitarios sobre silvicultura, pesca y ecosistemas (p.ej., Variables bioclimáticas apropiadas para el mapeo de la idoneidad del ecosistema)

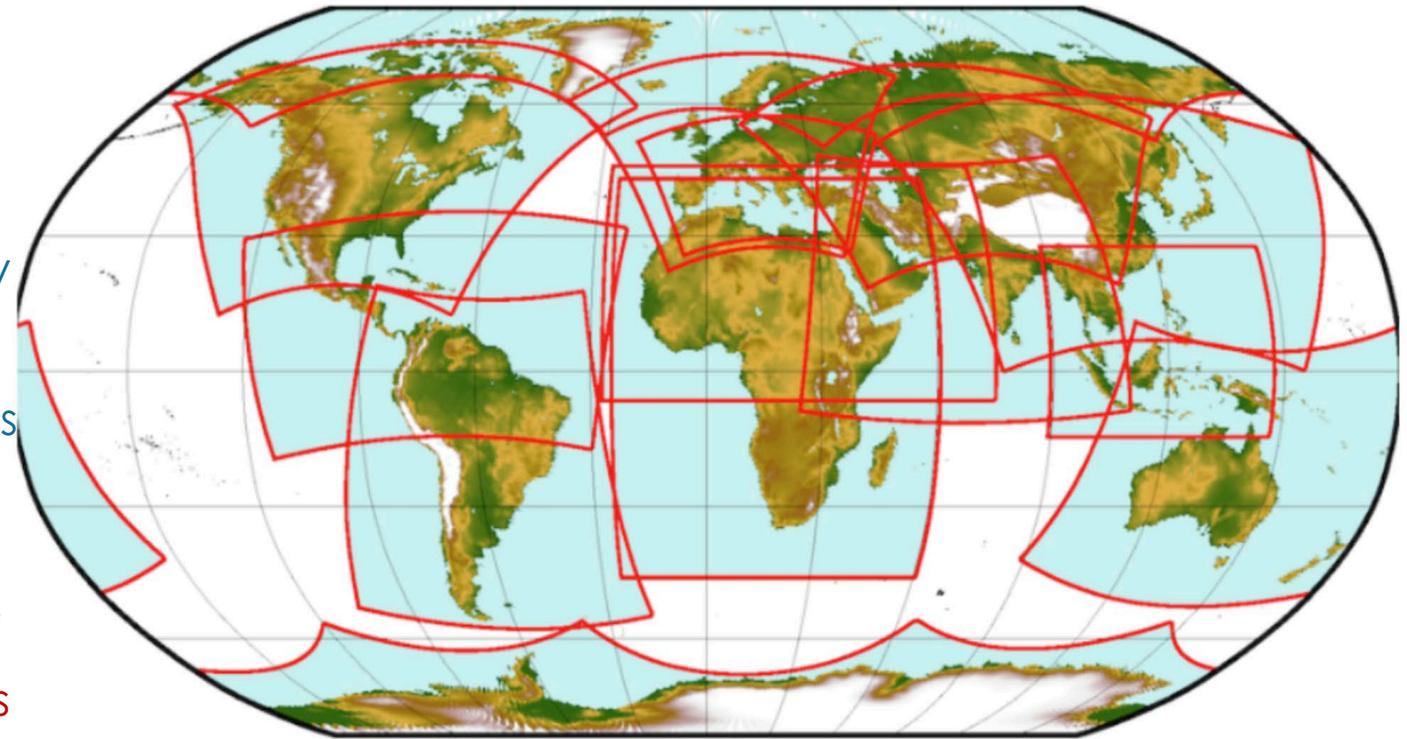




Ejemplos de Conjuntos de Proyecciones Comunes

Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment* (CORDEX)

- Coordinación entre modelos globales y regionales para producir proyecciones climáticas regionales para un conjunto de dominios
- Dominios estandarizados, formatos, unidades variables y experimentos (escenarios) con diversas combinaciones GCM-RCM
- CORDEX CMIP5:
 - 14 dominios en todo el mundo con diferentes combinaciones GCM-RCM
 - 2-3 escenarios RCP
 - Resolución espacial entre 0,22 grados y 0,44 grados
 - Incluye salidas subsidiarias
 - Muchas variables climáticas disponibles
 - Puede que necesite un ajuste de sesgos adicional
 - La disponibilidad de los últimos resultados del modelo climático tiende a retrasarse respecto a los enfoques estadísticos de la reducción de escalas



Dominios de CORDEX con Topografía

Fuente: WCRP CORDEX

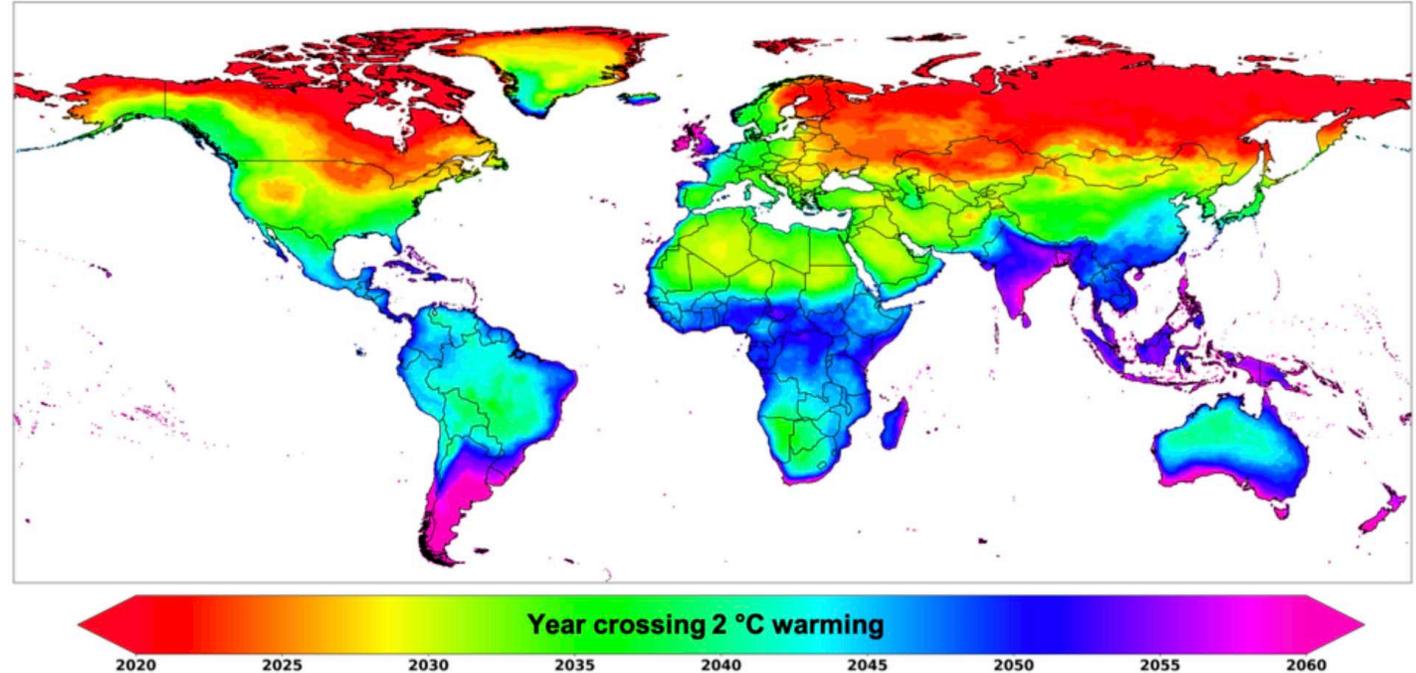
*Experimento de Reducción de Escalas
Climáticas Regionales Coordinado

NASA's Applied Remote Sensing Training Program



NASA Earth Exchange (NEX)

- Formatos estandarizados con varios métodos (GDDP, LOCA, etc.)
- NEX-GDDP
 - 35 CMIP6 GCMs
 - Cuatro escenarios SSP-RCP para la mayoría de los GCMs
 - Dominio mundial de 0,25 grado
 - Se ajustan los sesgos usando un conjunto de datos de forzamiento meteorológicos globales
 - 9 variables climáticas para la mayoría de los GCMs
 - Productos diarios
- NEX-LOCA
 - Resolución de ~1 km sobre EE.UU.
 - Productos mensuales



Año de Sobrepasar 2C de Calentamiento Relativo a 1950-1979 bajo el escenario SSP5-8.5

Fuente: NASA NEX-GDDP

<https://www.nasa.gov/nex/gddp>



Inter-Sectoral Impacts Model Intercomparison Project* (ISIMIP)

- Las proyecciones climáticas consistentes, reducidas y ajustadas por sesgos sirven como impulsores a través de múltiples impactos, sectores y escalas.
- Red internacional de grupos de modelación de impactos
- Resumen de salidas/productos:
 - Cinco CMIP6 GCMs disponibles temprano
 - Modelos adicionales aún se están habilitando en línea
 - Tres escenarios SSP-RCP
 - Dominio global de 0,5 grado
 - Ajuste de sesgos usando conjuntos de datos climáticos históricos de forzamiento WFDE5 y ERA5
 - Productos diarios
 - 11 variables climáticas seleccionadas para facilitar simulaciones de modelos de impactos

*Proyecto de Intercomparación de Modelos de Impactos Intersectoriales

NASA's Applied Remote Sensing Training Program



Coordinación



Gestión de Datos



Ciencia Intersectorial



Aguas Globales



Aguas Regionales



Calidad del Agua



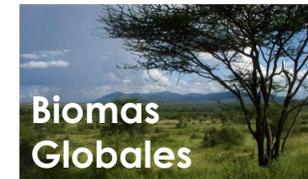
Pesca y Ecosistemas Marinos



Fluctuaciones y Extremos Energéticos



Bosques Regionales



Biomasa Globales



Agricultura



Modelación Agro-Económica



Biodiversidad Terrestre



Permafrost



Sistemas Costeros



Salud



Lagos



Incendios

ISIMIP:
Panorama de los Sectores

Fuente: ISIMIP



Factores Adicionales que Hacen un Conjunto de Proyecciones Más Atractivo

Atributos Clave:

- **Un Gran Ensamble** de GCMs (p.ej., NEX GDDP)
- **Múltiples Enfoques Metodológicos** (p.ej., NEX GDDP and NEX LOCA)
- Variables personalizadas para evaluaciones de **impactos consistentes** (p.ej., ISIMIP3a)
- **Enfoque Regional** (p.ej., CORDEX, CORDEX-Core, LOCA)
- **Coherencia con Evaluaciones Paralelas** (p.ej., la última Evaluación Climática Nacional de EE.UU. usó un conjunto de datos de LOCA para realizar una evaluación multisectorial)
- **Nivel de Confianza y Familiarización de Partes Interesadas** respecto a las fuentes de los datos climáticos
 - Si las partes interesadas usan un producto de precipitación, puede que el ajuste de sesgos incorporando ese producto les sea más atractivo



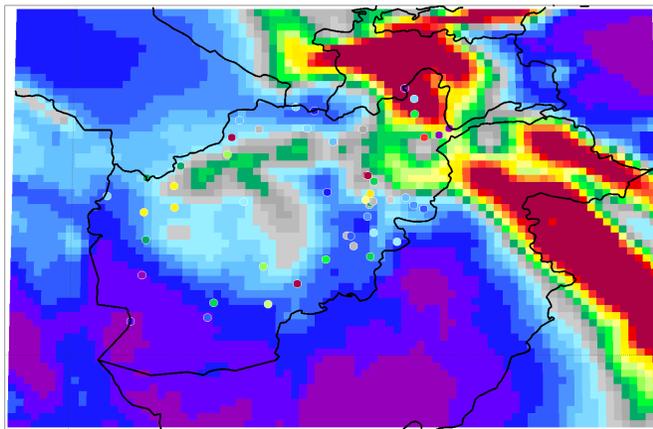


Compromisos al Usar Conjuntos de Proyecciones Climáticas Más Complejos

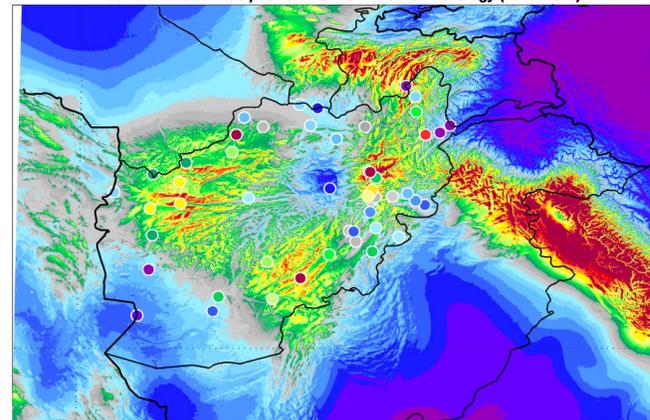
Compromisos al Usar Conjuntos de Proyecciones Climáticas Más Complejos

- La existencia de datos a mayor resolución no necesariamente indica una mayor calidad.
- Potencial ilusión de falsos niveles de detalle.
- Las regiones con escasez de datos son difíciles de comparar (¿qué es correcto?).
- Los conjuntos de datos de observaciones utilizados en la corrección de sesgos pueden tener una mayor fidelidad a resoluciones más bajas.
- Una resolución más alta requiere más espacio computacional y tiempo de procesamiento.

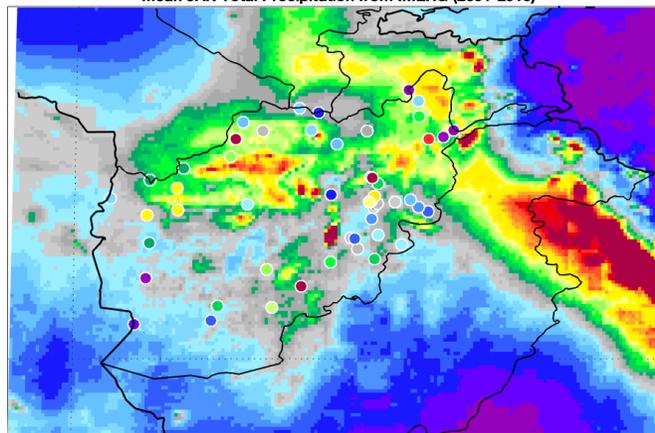
CORDEX-Core NorESM1-M
RegCM4-7 (1980-2009)



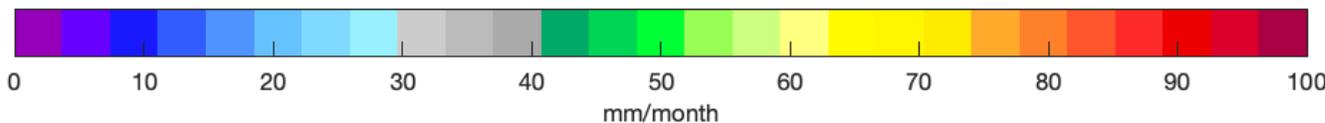
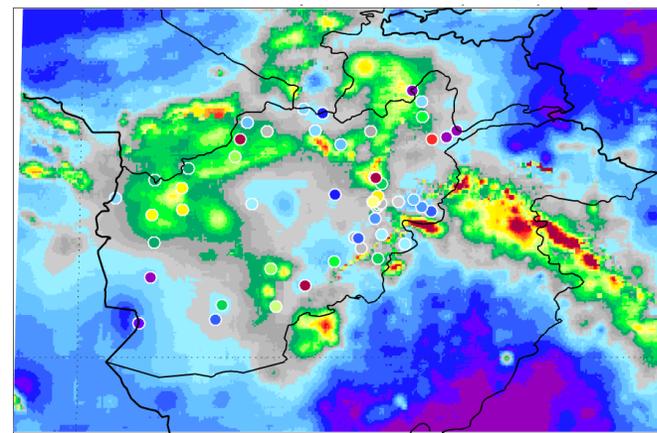
CHELSA Climatology (1979-2013)



IMERG (2001-2019)



CHIRPS (1981-2019)

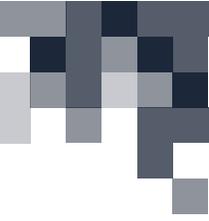


Afganistán- Precipitación de Base Total para Enero
Ruane et al., en preparación para Wildlife Conservation Society



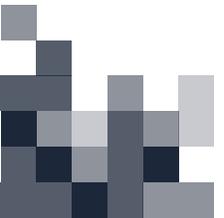
Compromisos al Usar Conjuntos de Proyecciones Climáticas Más Complejos

Resolución Temporal



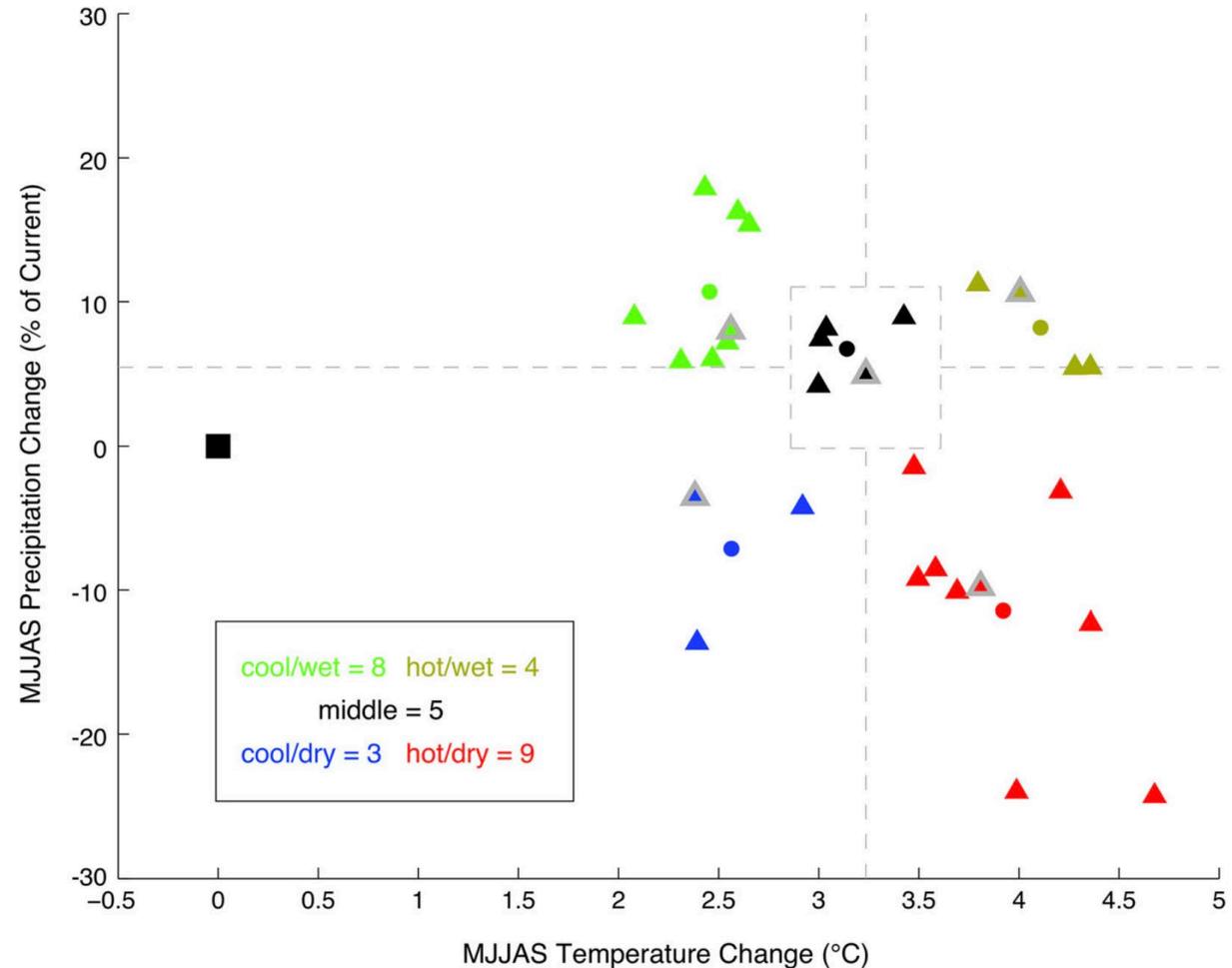
Horas x **Días** x **Meses** x **Años** x **Escenarios** x **ESMs** x **Miembros de Ensamble** x **Variables**
24 x 30 x 12 x 120 x ~4 x ~20 x ~5 x ~4
= + de 1,6 mil millones de puntos de datos (para una ubicación)

- Usar solo las salidas mensuales reduce este número por un factor de 720
- Menos ESMs tienen salidas publicadas a resolución temporal más alta



Subconjuntos para Modelos debido a Limitaciones de Recursos

- **La Democracia de Modelos** era común hasta CMIP5
 - Un modelo = ¿un voto?
(no usar subconjuntos cuando sea posible)
- **Limitaciones de Recursos** – Elegir modelos que comunican tramas



Subconjunto Representativo de GCMs para Ames, Iowa

Por cambio de temperatura y precipitación

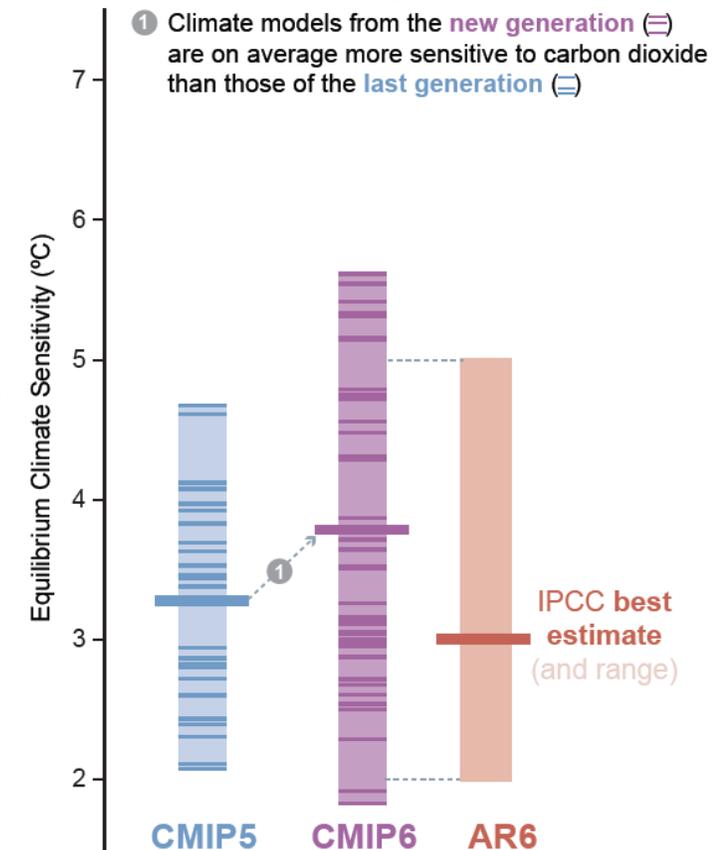
De Ruane y McDermid, 2017 (doi:10.1186/s40322-017-0036-4)



Subconjuntos para Modelos debido a Limitaciones de Recursos

- “**Hot Models**” (Ver Glosario IPCC AR6 y WGI CH7: Forster et al., 2021; Hausfather et al., 2022)
 - Equilibrium Climate Sensitivity (**ECS**) = El cambio de equilibrio (estado estacionario) en la temperatura de la superficie luego de una duplicación de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico de las condiciones preindustriales.
 - IPCC Evaluó un rango muy probable para ECS: 2.0-5.0°C
 - Transient Climate Response (**TCR**) = La respuesta de la temperatura de la superficie para el escenario hipotético en el que el dióxido de carbono atmosférico (CO₂) aumenta en un 1 % año⁻¹ desde la era preindustrial hasta el momento en que se duplica la concentración de CO₂ atmosférico (año 70).
 - IPCC Evaluó un rango muy probable para TCR: 1.2-2.4°C
 - Tenga cuidado con los modelos que tengan ECS o TCR más allá de su rango evaluado, los ‘modelos calientes’ podrían ser demasiado sensitivos a emisiones de gases de efecto invernadero o cambios en los aerosoles.

Climate sensitivity of models





Materiales de Apoyo que Pueden Hacer un
Conjunto de Proyecciones Climáticas Más
Atractivo

Otros Aspectos Importantes de los Conjunto de Proyecciones Atractivos

- **Material de Orientación Claro:** La documentación indica el uso sugerido, contiene advertencias e informa sobre posibles debilidades de la aplicación de un conjunto de proyecciones.
- **Reformatear Canales:** Puede que los resultados sean re-empacados en formatos comunes para aplicaciones (p.ej., archivos de entrada para modelos de cultivos de AgMIP).
- **Acceso en la Nube:** Los conjuntos de datos están disponibles mediante servicios en la nube (en vez de requerir que se descarguen todos los materiales por completo).
- **Visualización:** Representación gráfica de las características clave de los conjuntos de proyecciones.



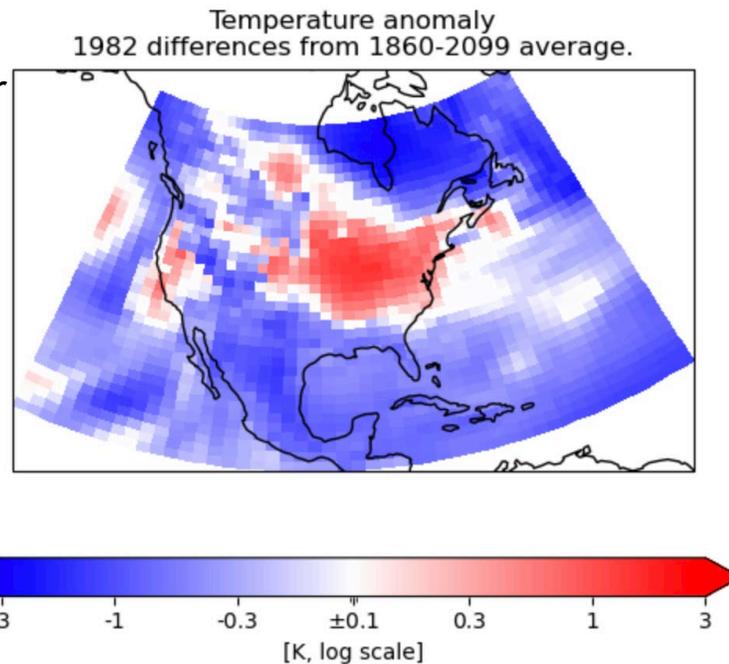
Herramientas de Visualización y Procesamiento en Línea

Muchas bases de datos en línea facilitan el procesamiento y la visualización de proyecciones, incluso:

- SciTools - scitools.org.uk
- Climate Analytics Climate Impact Explorer

climate-impact-explorer.climateanalytics.org/

- KNMI Climate Explorer
- IPCC WGI Interactive Atlas
[más en la diapositiva siguiente]



Coloreado de Datos de Anomalías con Escalación Logarítmica

Fuente: Galería de herramientas de IRIS de scitools.org.uk

Select an annual time series

Annual climate reconstructions

Please note that many of these time series have been derived from (very) indirect data and have large uncertainties. The Climate Explorer cannot currently represent the uncertainty margins, please consult the documentation of the time series to obtain these. You are encouraged to compare a few reconstructions of the same quantity and compare with instrumental data on the overlap period.

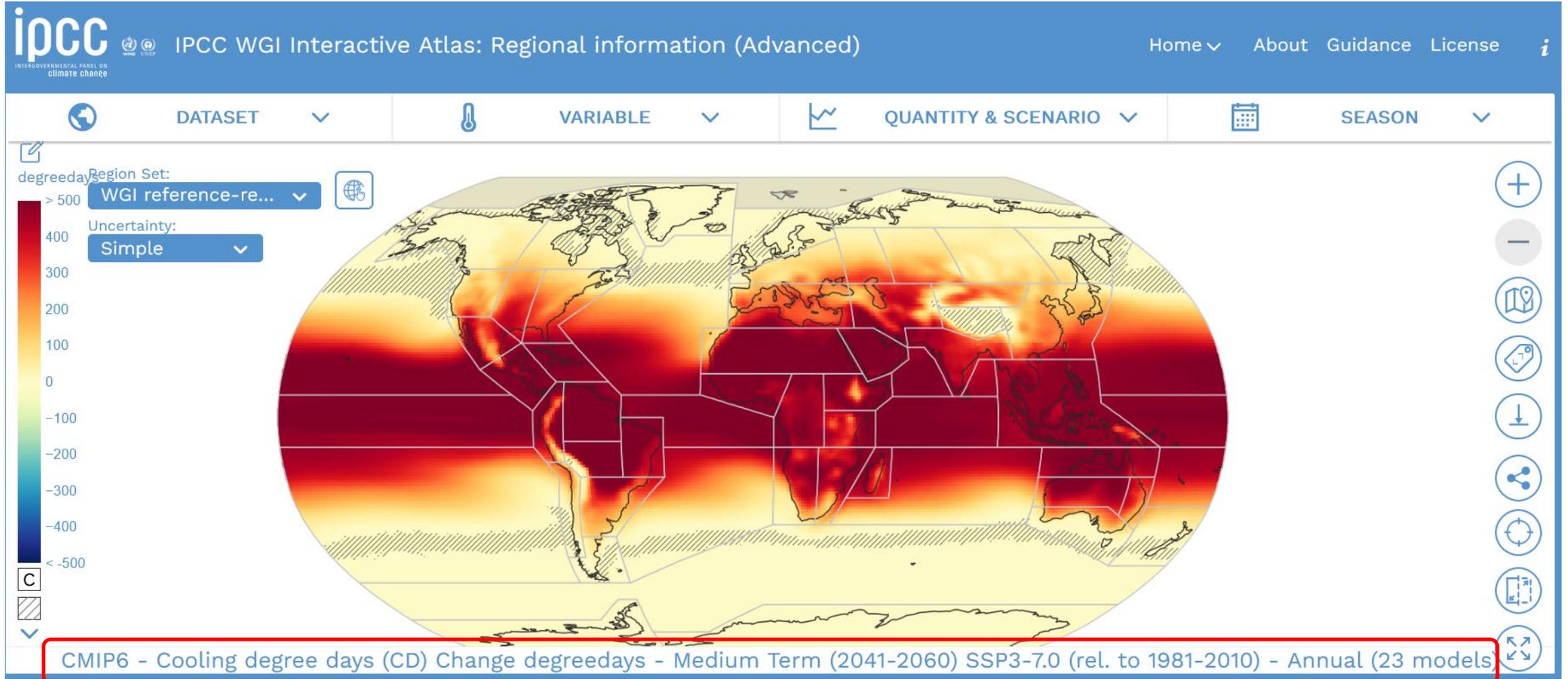
Select a time series by clicking on the name		
ENSO	1,100 Year El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Index Reconstruction (900-2002, Li et al 2011)	[i]
	Niño3 Reconstruction (500-2006, Mann et al 2009)	[i]
NAO	Multidecadal winter NAO reconstruction (1049-1995, Trouet 2009)	[i]
PDO	Pacific Decadal Oscillation Reconstruction for the Past Millennium (993-1996, MacDonald&Case 2005)	[i]
	PDO Reconstruction (500-2006, Mann et al 2009)	[i]
AMO	AMO Reconstruction (500-2006, Mann et al 2009)	[i]
Temperature	Moberg Northern Hemisphere temperature (1-1979, Moberg 2005)	[i]
	NH Temperature Reconstruction (500-2006, Mann et al 2009)	[i]
	Global SST Reconstruction (500-2006, Mann et al 2009)	[i]
	Winter, summer and annual mean temperature in the Netherlands (753-2000, v. Engelen, Buisman, IJnsen)	[i]
Sea level	Global sea level (error) (1700-2002, PSMSL)	[i]
Radiation	CO₂ concentration 1000-now, logarithm	[i]
Sun	Reconstructed solar constant (1610-2008, FUB)	[i]
	Reconstructed open solar flux (1675-2010, Lockwood)	[i]
Drought	Western US Drought Index (800-2003, Cook et al, 2004)	[i]

KNMI Climate Explorer

Fuente: <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>



IPCC Interactive Atlas



IPCC Interactive Atlas

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

IPCC WGI Interactive Atlas: Regional synthesis

Home ▾ About License

SELECT VISUALIZATION

MAP REGIONS COMBINATIONS

HEAT AND COLD

- Mean surface temperature
- Extreme heat X
- Cold spell
- Frost

WET AND DRY

- Mean precipitation X
- River flood
- Heavy precipitation and pluvial flood
- Landslide
- Aridity
- Hydrological drought
- Agricultural and ecological drought X

Mean precipitation
Extreme heat
Agricultural and ecological drought

Future projections...with confidence
Increasing High Medium Low

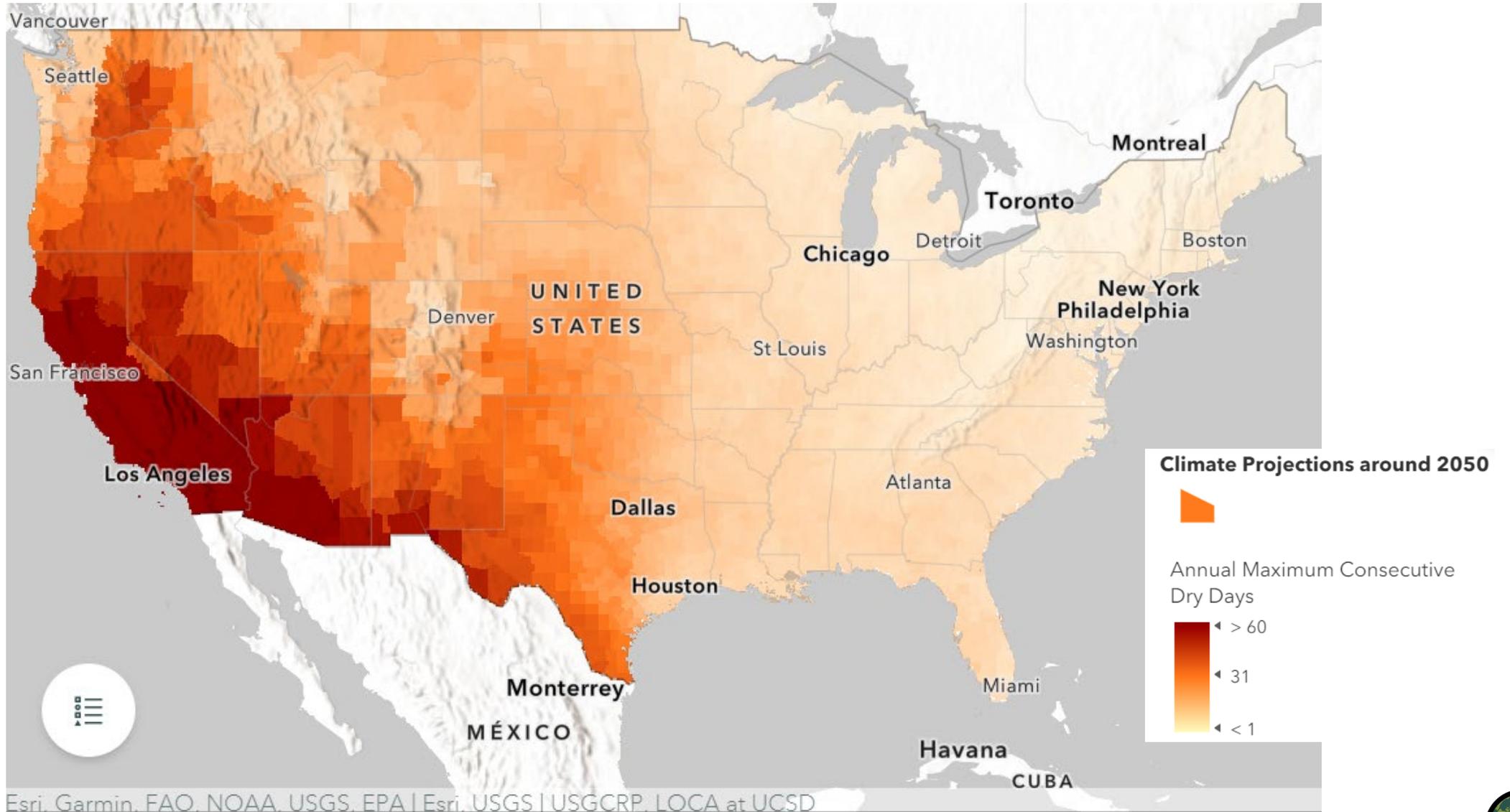
Observed trend
Upward ...with attribution High Low

<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>



Climate Mapping for Resilience and Adaptation (CMRA)

Iniciativa de la Casa Blanca en Colaboración con ESRI



Licencias de Datos

- Algunos conjuntos de proyecciones son bienes públicos creados para fomentar su aplicación.
- Otros conjuntos de proyecciones son productos comerciales (podrían ser costosos).
- Aclarar la licencia de datos para describir los parámetros legales para las condiciones de uso autorizadas:
 - **Not Determined:** No hay licencia, o no ha sido declarada
 - **Proprietary:** No para el uso público.
 - **Limited:** Disponible para el uso si satisface ciertas condiciones determinadas por el creador del conjunto de proyecciones.
 - **Open, Non-Commercial:** Uso libre para aplicaciones no comerciales.
 - **Open, Commercial:** Uso libre, incluso para aplicaciones comerciales.



Productos Relacionados

Los conjuntos de proyecciones pueden ser atractivos porque una nueva aplicación conectará instantáneamente con varias aplicaciones existentes.

- **Ejemplo: La Evaluación Climática Nacional de EE.UU. usó proyecciones de CMIP5 LOCA**
 - Cualquier nueva evaluación se puede comparar inmediatamente con la evaluación anteriormente publicada
 - Los resultados de evaluaciones nuevas se pueden combinar con resultados existentes
 - P.ej., los resultados de recursos hídricos se vuelven entradas importantes para modelos agrícolas
- Es particularmente útil cuando se vincula con modelos a nivel de economía o sistémico como los Integrated Assessment Models (IAMs)



Información Importante

- **Financiación y Nexos:**

- **Financiación y Uso:** Hay que reconocer el apoyo financiero y el uso principal planificado del conjunto de datos (p.ej., para su uso en un sector, proyecto, o evaluación en particular).
- **Nexos Internacionales:** La conexión con programas internacionales (p.ej., puede que el conjunto para un escenario se haya creado para múltiples dominios regionales como parte del mismo esfuerzo a nivel mundial).
- **Documentación Detallada:** La ubicación en la web de documentación detallada del conjunto del escenario, incluso una citación para su uso.

- **Acceso:**

- Página web/servidor de los datos
- Punto de contacto principal





Resumen

Resumen de la 2^{da} Parte:

- La selección de un conjunto de proyecciones depende fuertemente de las necesidades de una aplicación determinada.
- La colaboración estrecha con las partes interesadas es importante para el proceso de decisión.
- Las mejoras graduales en todas las características de la generación de conjuntos de proyecciones climáticas resaltan lo atractivo de usar conjuntos de proyecciones de vanguardia.
- Los conjuntos de proyecciones más complejos no necesariamente son mejores.
 - Limitaciones de recursos
 - La apariencia de alto nivel de detalles
- Las herramientas, apoyo y documentación en línea hacen los conjuntos de proyecciones más atractivos.
- Puede ser importante hacer nexos con aplicaciones más allá de su enfoque inmediato.



Objetivos para esta Sesión de ARSET

¿Cómo seleccionamos un conjunto de proyecciones climáticas para usar en nuestra aplicación de mitigación, adaptación o gestión del riesgo?

1^{ra} Parte: ¿Qué hace los conjuntos de proyecciones diferentes?

- Contexto de las áreas de aplicación (mitigación, adaptación, riesgo)
- De dónde provienen los conjuntos de proyecciones climáticas
- Características distintivas clave

2^{da} Parte: ¿Cómo se elige un conjunto de proyecciones para las aplicaciones de uno?

- Alineación de las características del conjunto de proyecciones con las necesidades de una aplicación determinada
- Ventaja de usar versiones más actualizadas
- Compromisos en el uso de conjuntos de proyecciones más complejos
- Materiales de apoyo que hacen que un conjuntos de proyecciones sea más atractivo





¡Gracias!





Diapositivas Extras

La NASA tiene muchos productos para monitorear y simular el clima.

- **Vea estas otras capacitaciones de [ARSET](#):**

- Monitoreo e Impactos del Cambio Climático Usando Datos de Teledetección y Modelos
- Escenarios de Cambio Climático Futuros, Pronóstico de Impactos y Adaptación

- **Ejemplos de Productos de Observaciones:**

- The Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM ([IMERG](#))
 - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer ([MODIS](#))
 - Soil Moisture Active-Passive ([SMAP](#))
 - Orbiting Carbon Observatory ([OCO-2](#))
 - National Snow and Ice Data Center ([NSIDC](#))
- Precipitación
 - Temperatura
 - Vegetación
 - Humedad del Suelo
 - Carbono
 - Hielo Marino

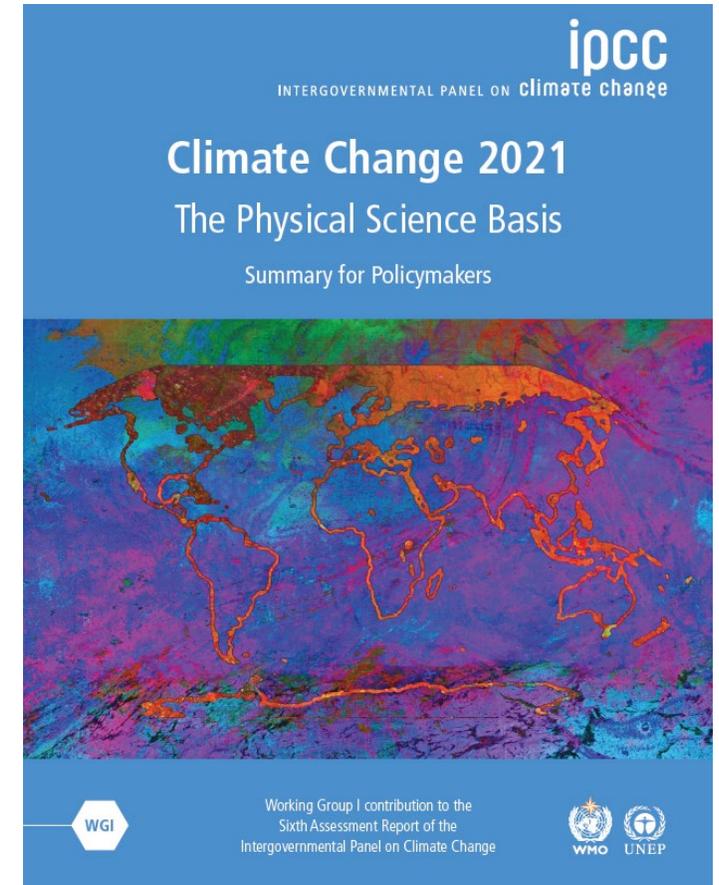
- **Ejemplos de Productos de Simulación:**

- The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications ([MERRA-2](#))
- NASA [GISS Model-E](#)
- NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections ([NEX-GDDP](#))



Materiales Adicionales Recomendados

- Otras Capacitaciones de NASA ARSET:
<https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training>
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático:
<https://ipcc.ch>
- Análisis de la Temperatura Superficial NASA GISS:
<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- Signos Vitales Climáticos Globales de la NASA :
<https://climate.nasa.gov/>
- Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project: www.agmip.org



IPCC AR6 WGI – Resumen para
Formuladores de Políticas, publicado el
9 de Agosto de 2021

