



Atlas de Riesgos Climáticos

René Garreaud¹, Francisco Meza², Susana Bustos¹, Andrés Pica²
Mark Falvey³, Ignacia Silva¹
7, 8 y 10 de septiembre 2020

(1)



(3)



(2)



Jornada de Avance ARClím

Primera parte: Aspectos generales

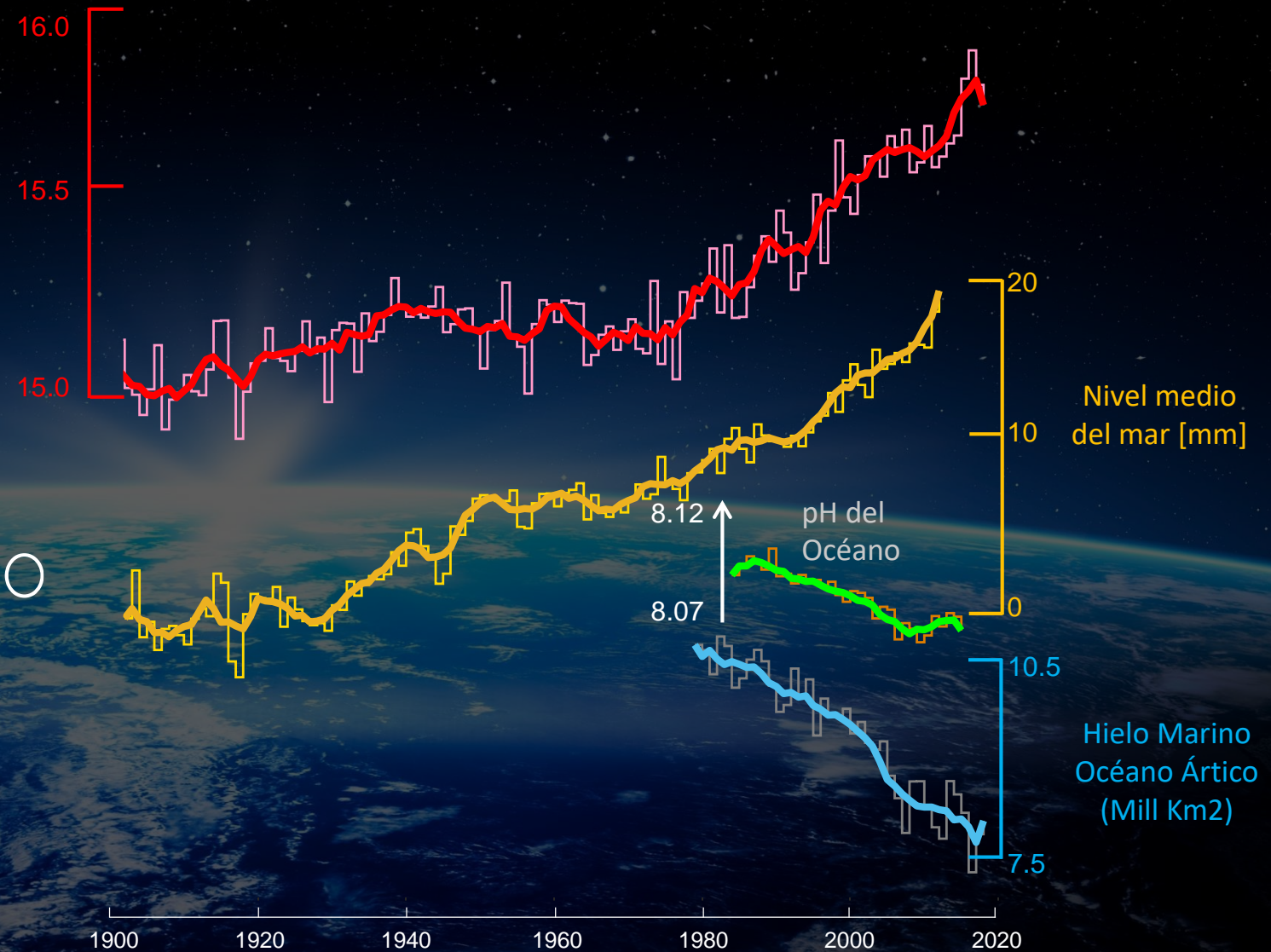
- Evidencia global y local del cambio climático
- Atribución y modelos
- Mirando al futuro

Segunda parte: El proyecto ARClím

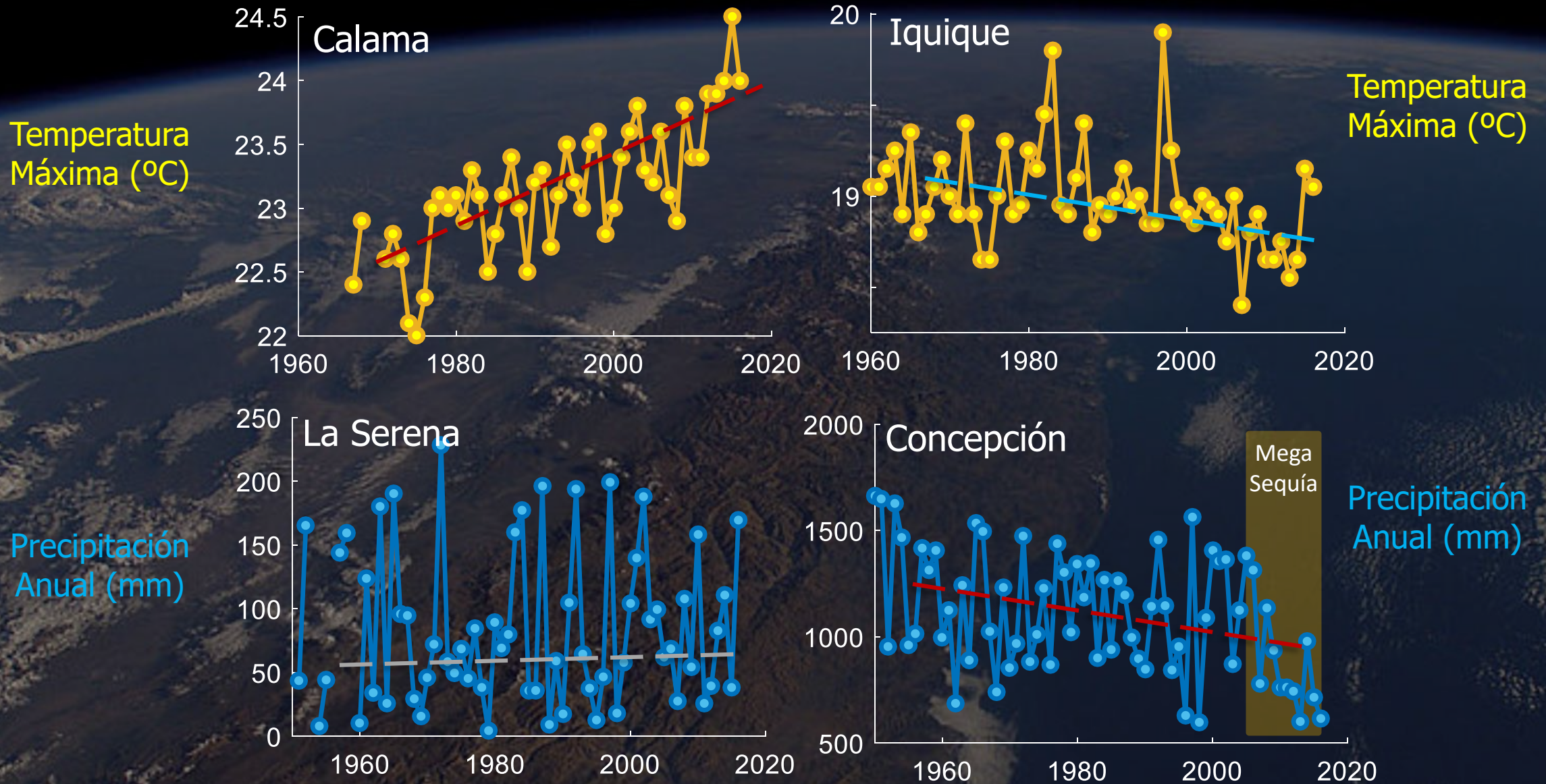
- Objetivos, diseño y principios básicos
- Cadenas de impacto y evaluación del riesgo
- Sectores y sistemas (ejemplos)
- La plataforma **ARClím**

NUESTRO CLIMA CAMBIANTE

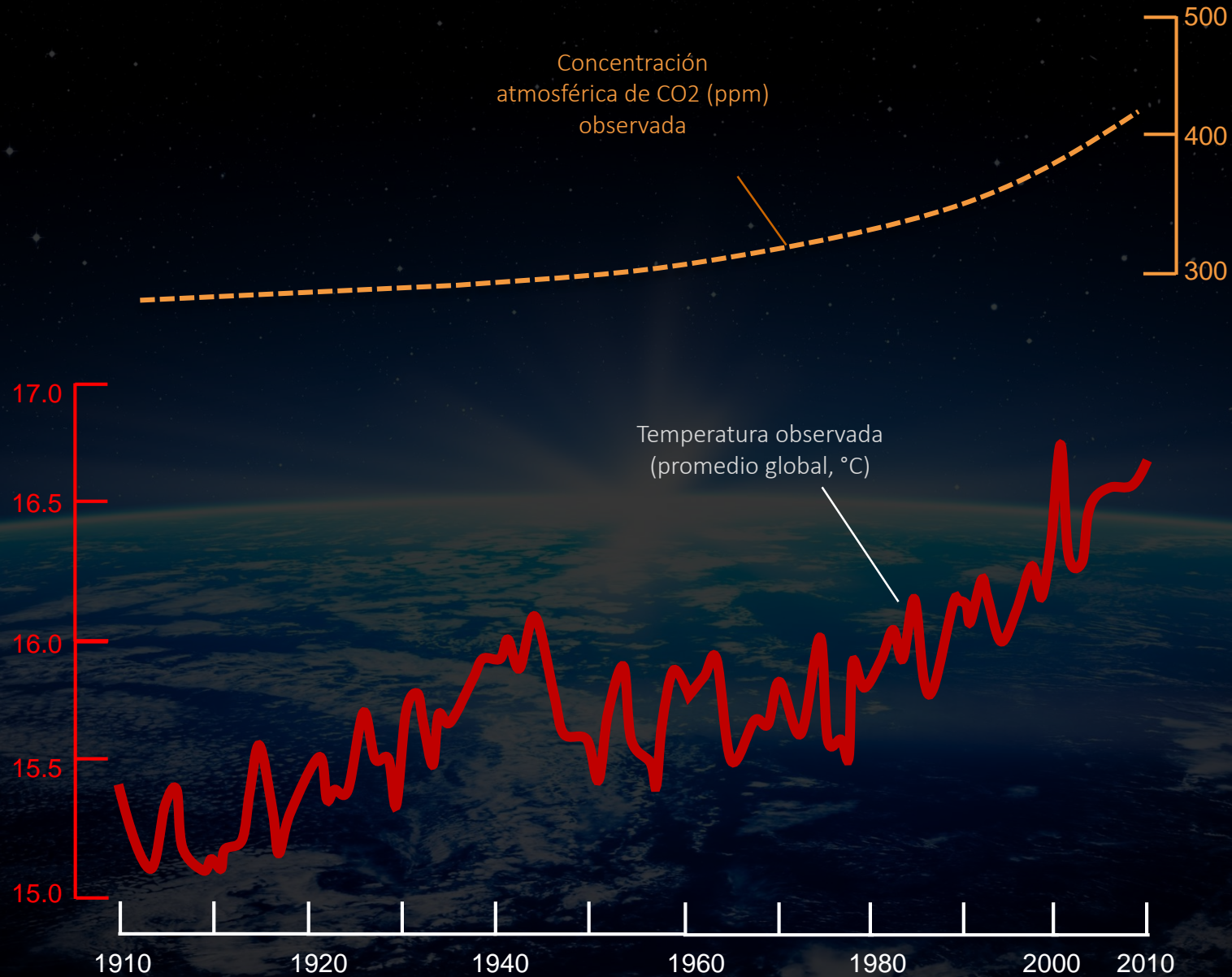
Indicadores globales
durante el Antropoceno



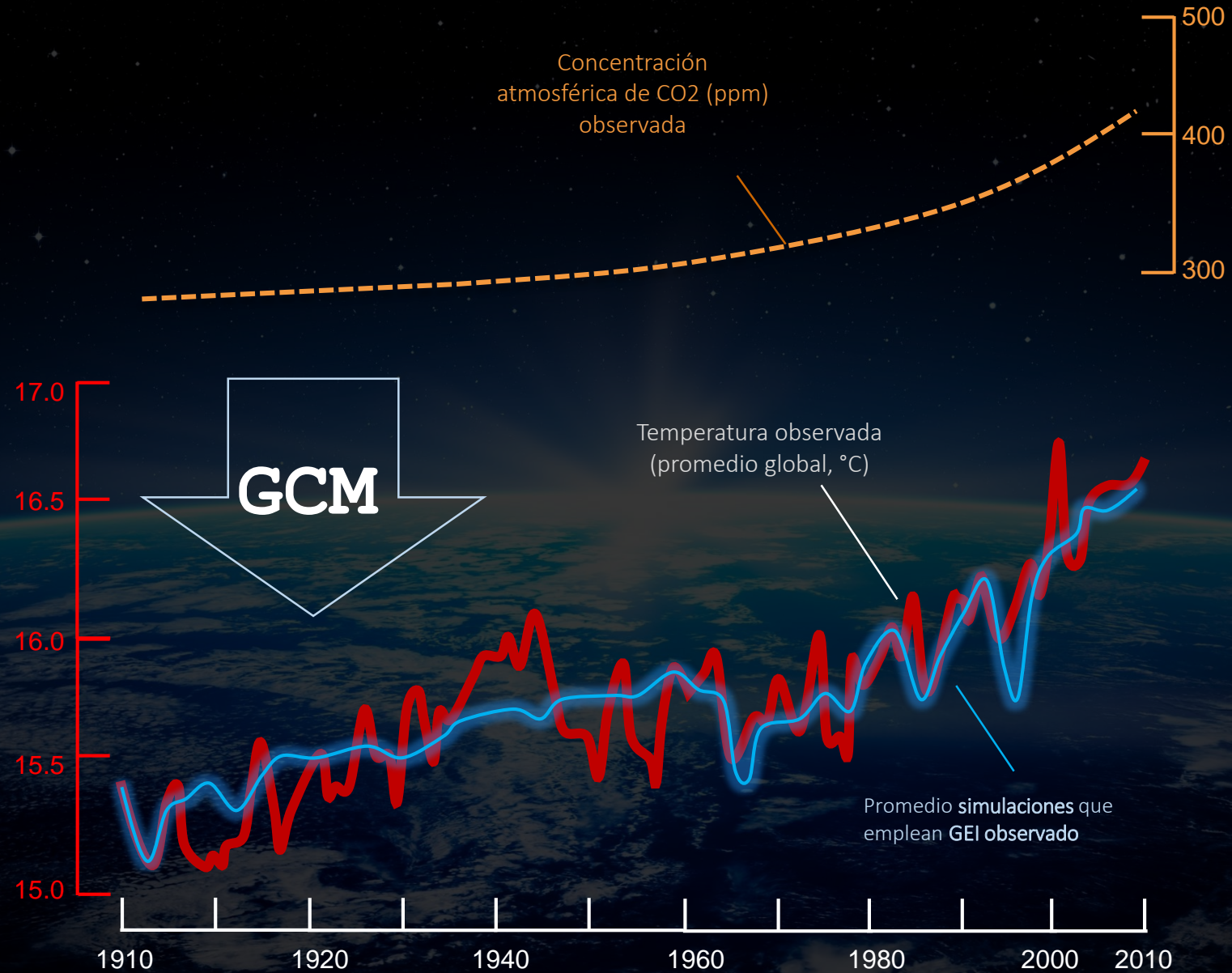
¿Y **cómo** andamos por casa?



Atribución del cambio climático



Atribución del cambio climático



¿Como simulamos el clima (pasado, presente y futuro)?

Ecuaciones Gobernantes de la Atmosfera
(sistema terrestre)

$$\frac{d\vec{V}}{dt} + f\hat{k} \times \vec{V} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \overline{Fr} + \vec{g}$$

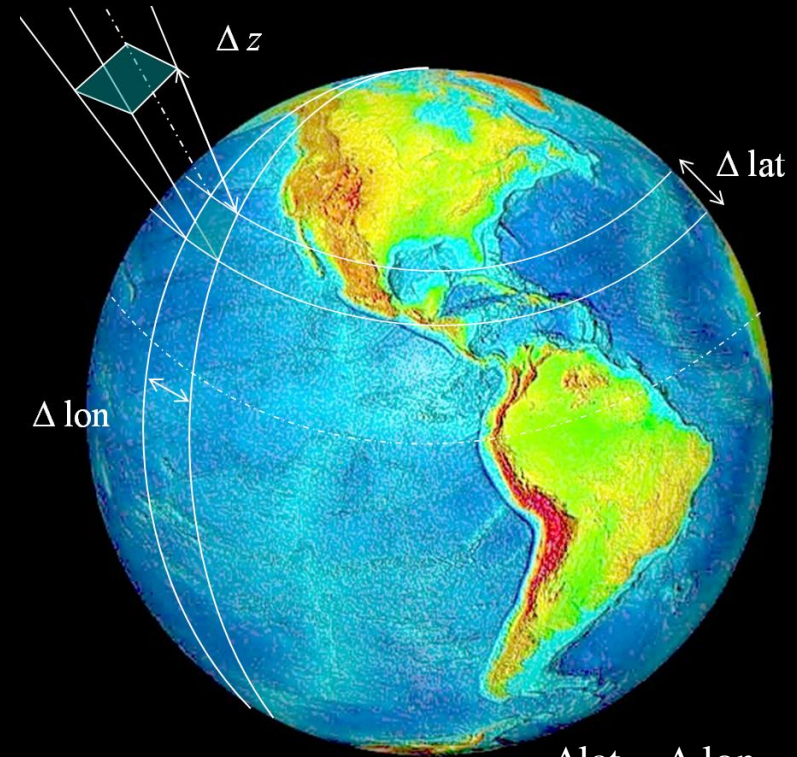
$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla\right)T - S_p\omega = Q_{rad} + Q_{conv} + Q_{sfc}$$

$$\nabla \cdot \vec{V} + \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -\frac{RT}{p}$$

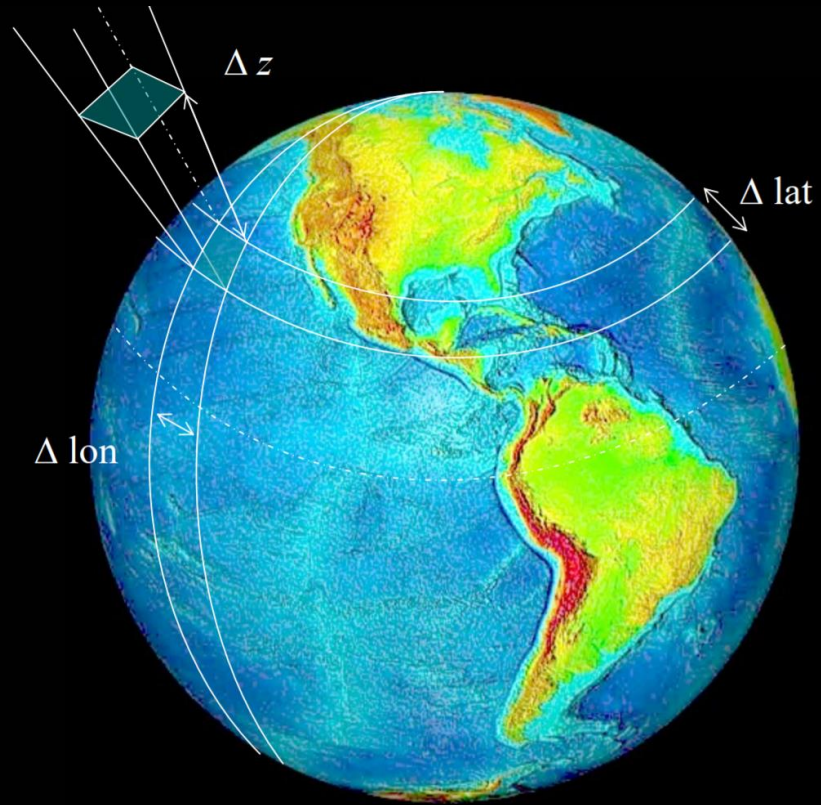
Requiere prescribir GEI, aerosoles
y otras condiciones de borde

Modelos de Circulación General (GCM).
Cerca de 30 modelos coordinados (CMIP5)



$\Delta lat \sim \Delta lon \sim 1^\circ - 3^\circ$
 $\Delta z \sim 1 \text{ km}$ $\Delta t \sim \text{minutes-hours}$

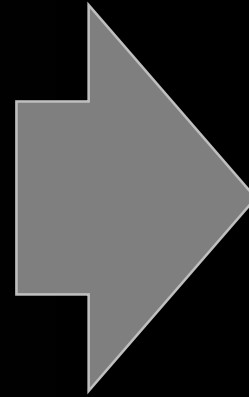
Modelo Global



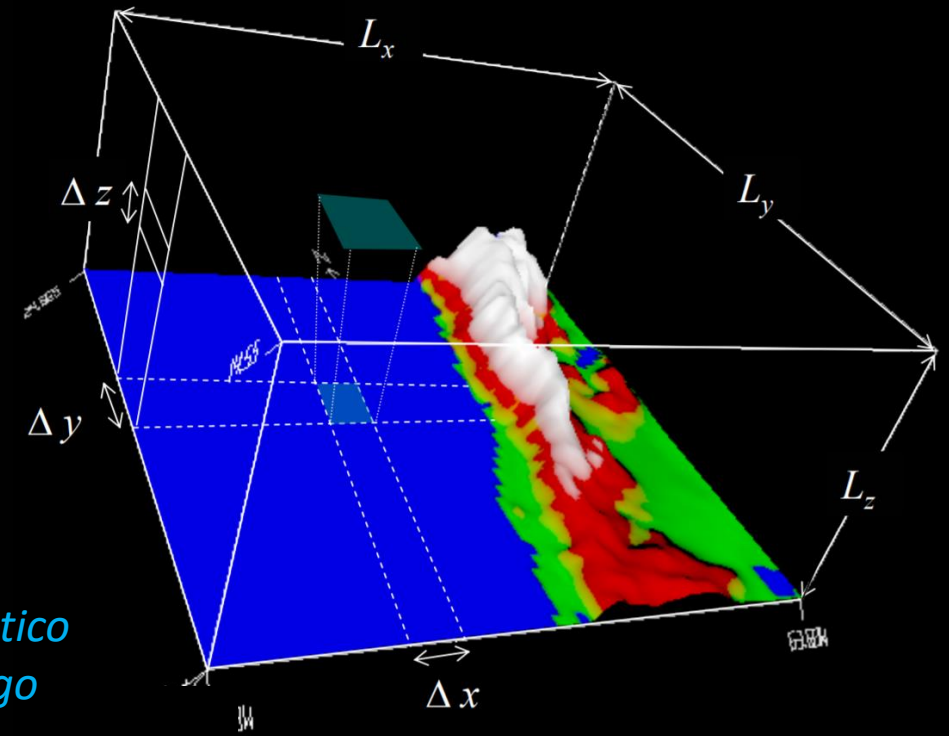
$$\Delta \text{lat} \sim \Delta \text{lon} \sim 1^\circ - 3^\circ$$

Grilla Interpolada

*Escalamiento
dinámico*

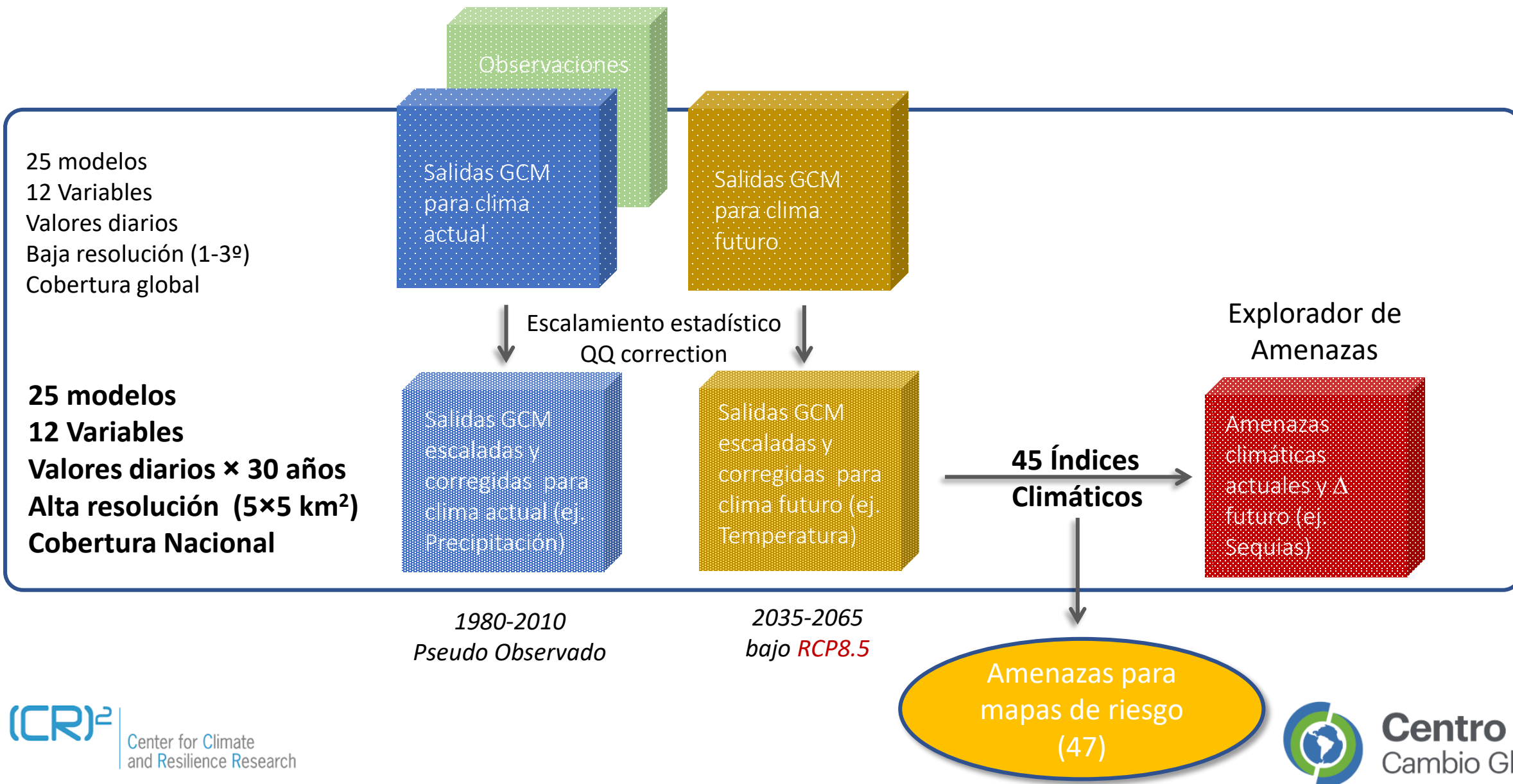


*Escalamiento estadístico
y corrección de sesgo
(ARClím)*



$$\Delta x \sim \Delta y \sim 1-50 \text{ km} \quad \Delta z \sim 50-200 \text{ m}$$
$$L_x \sim L_y \sim 100-5000 \text{ km}$$

Base Datos Climática: 12 Tera Bytes (Tb)

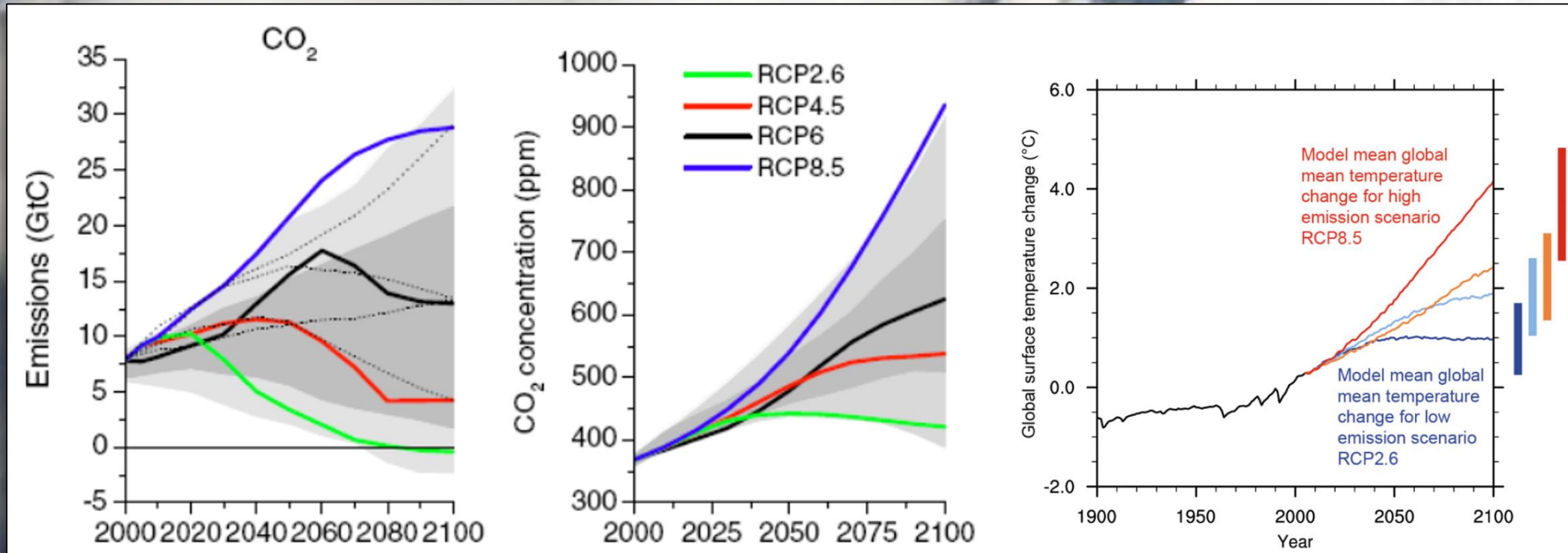


La mayor
fuente de
incertidumbre
del futuro
climático...

¿Cuánto **CO2 inyectaremos** en el siglo XXI?

¿Cuánto **CO2 inyectaremos** en el siglo XXI?

Escenarios Desarrollo
Económico-Social



Balance
De Masa

GCMs

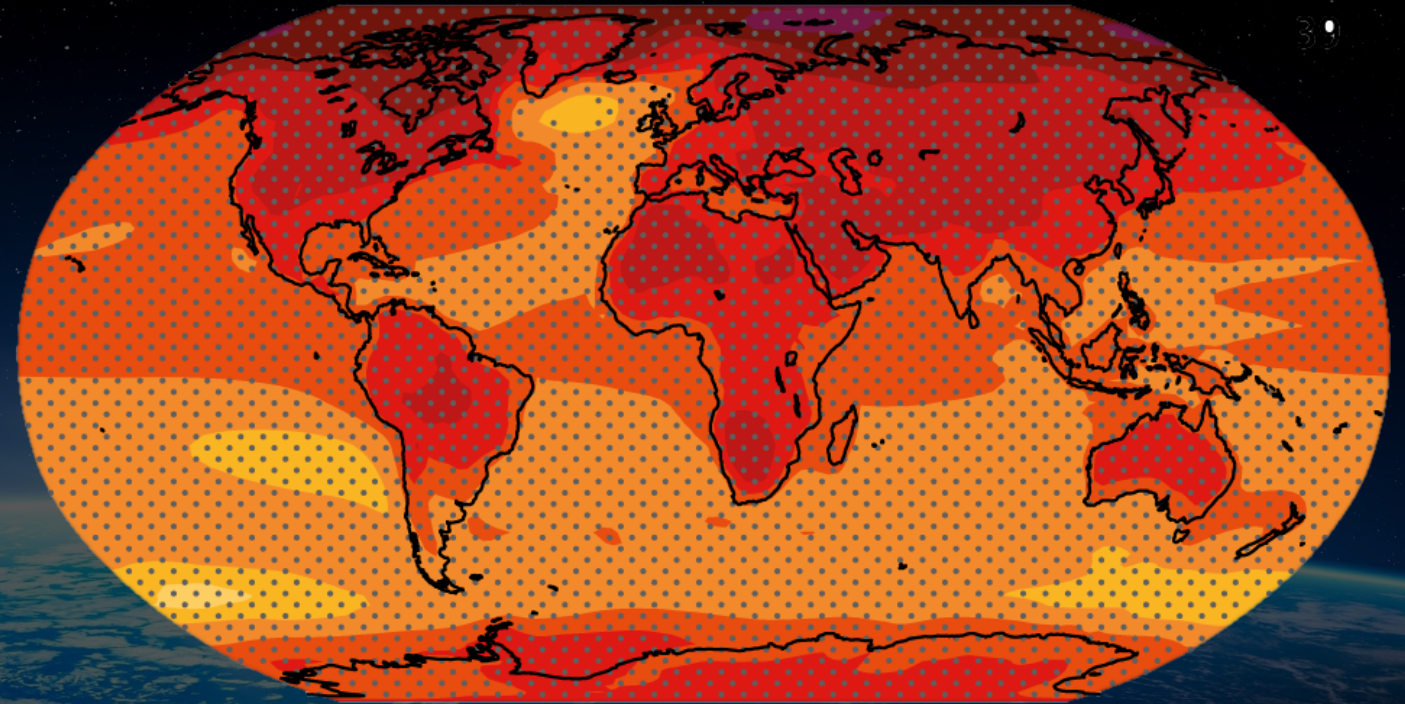
Cambios globales Proyectados

para fines del siglo XXI
bajo escenario RCP8.5

(1000 ppm CO₂ a fines de siglo)

Promedio 39 GCM

Temperatura

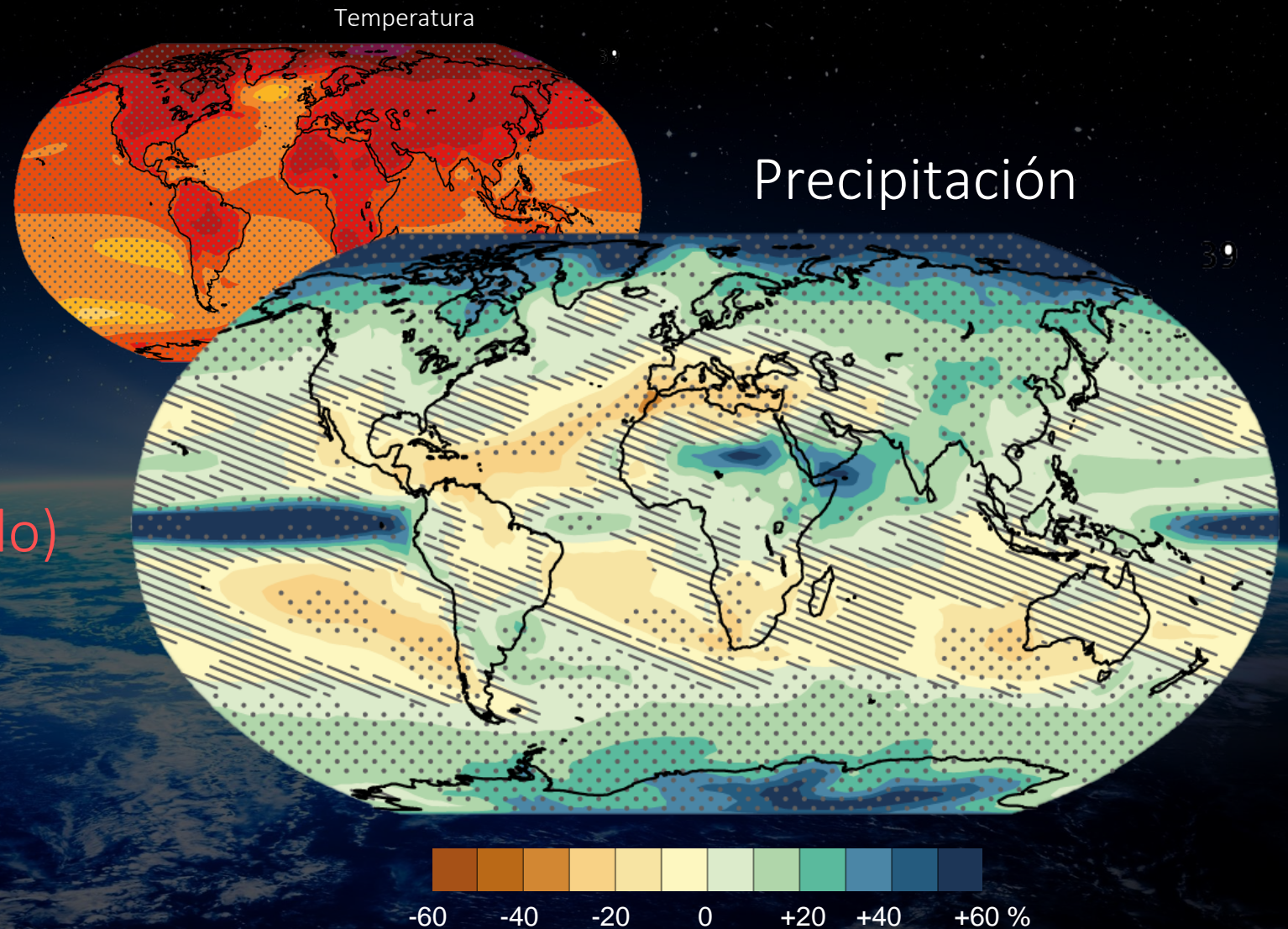


Cambios globales Proyectados

para fines del siglo XXI
bajo escenario RCP8.5

(1000 ppm CO₂ a fines de siglo)

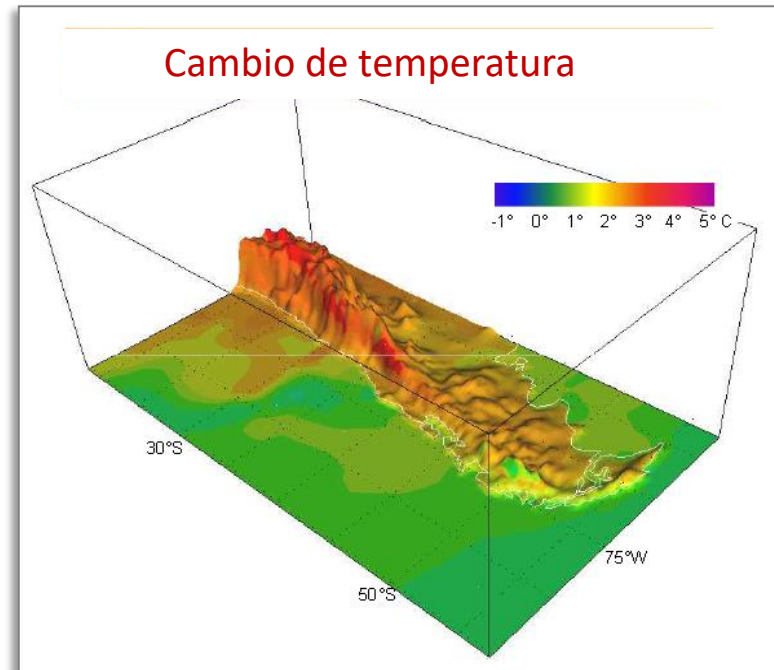
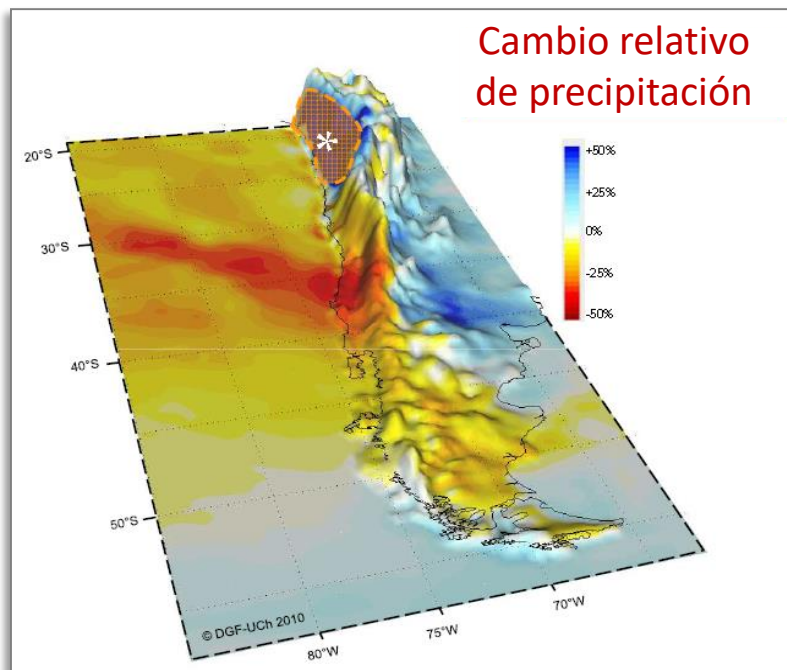
Promedio 39 GCM



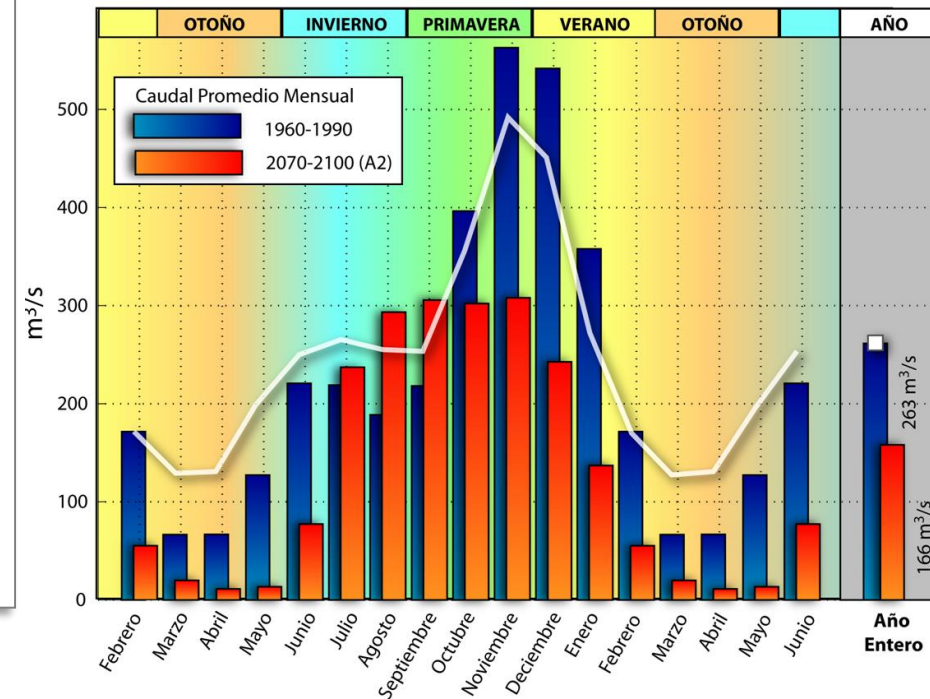
Proyecciones regionales

Escenario pesimista (RCP8.5) fines de siglo (2070-2100)

Cambio en condiciones medias en Chile central respecto a condición histórica (1980-2010):
Aumento de temperatura 1-2°C (*); Disminución de precipitación 15-25%

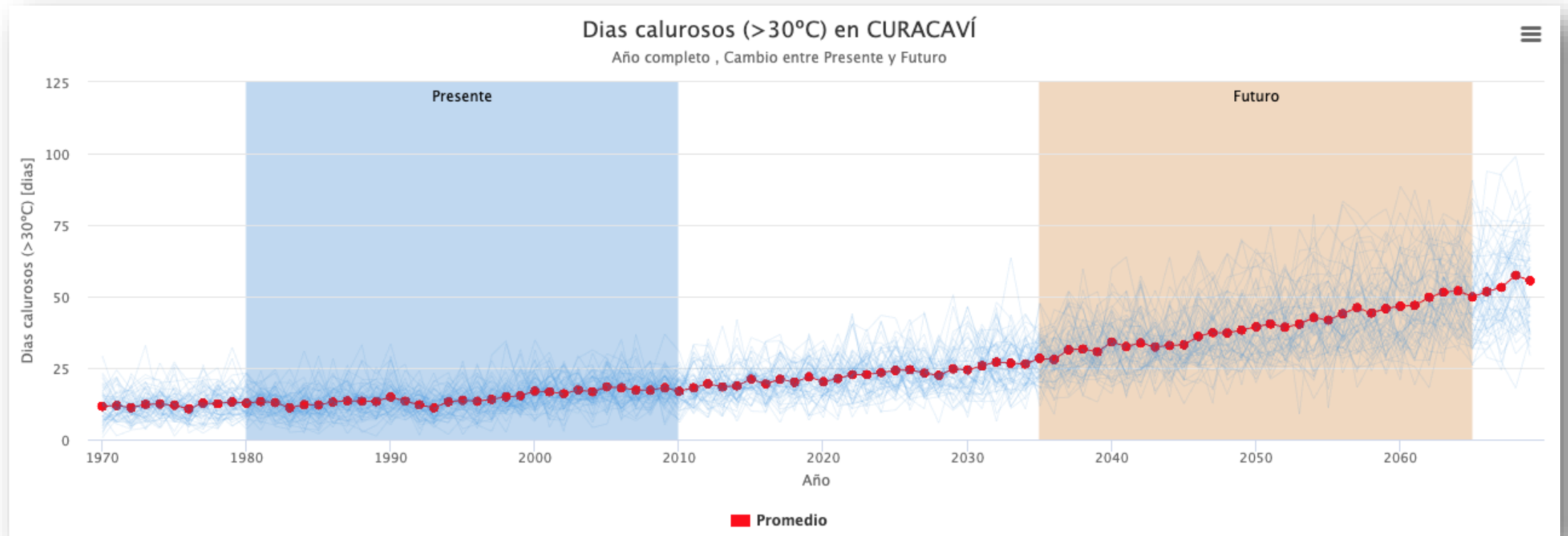


Cambio de caudal / Río Maule alto

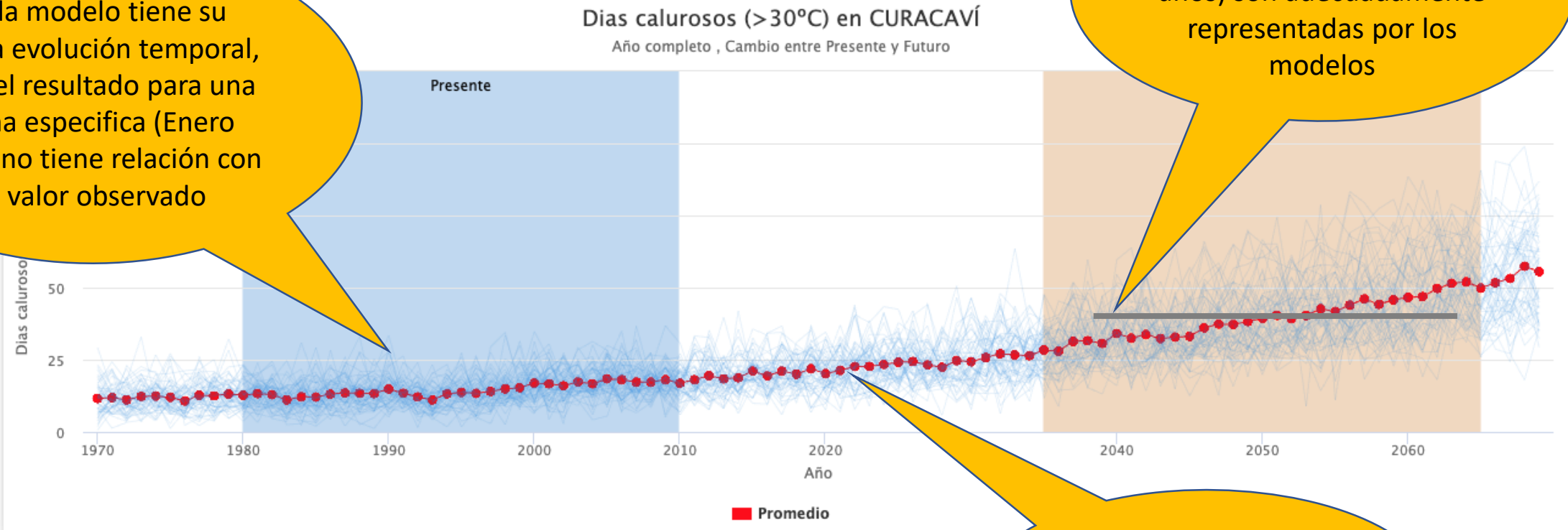


(Mejor Visualización en P-ARClím)

Para los distintos escenarios climáticos, **cada modelo** entregan la evolución temporal de las variables climáticas (T,P,HR, viento, etc.) en todos los puntos de grilla del dominio, permitiendo hacer mapas y series de tiempo...pero **no todo lo que brilla es oro**



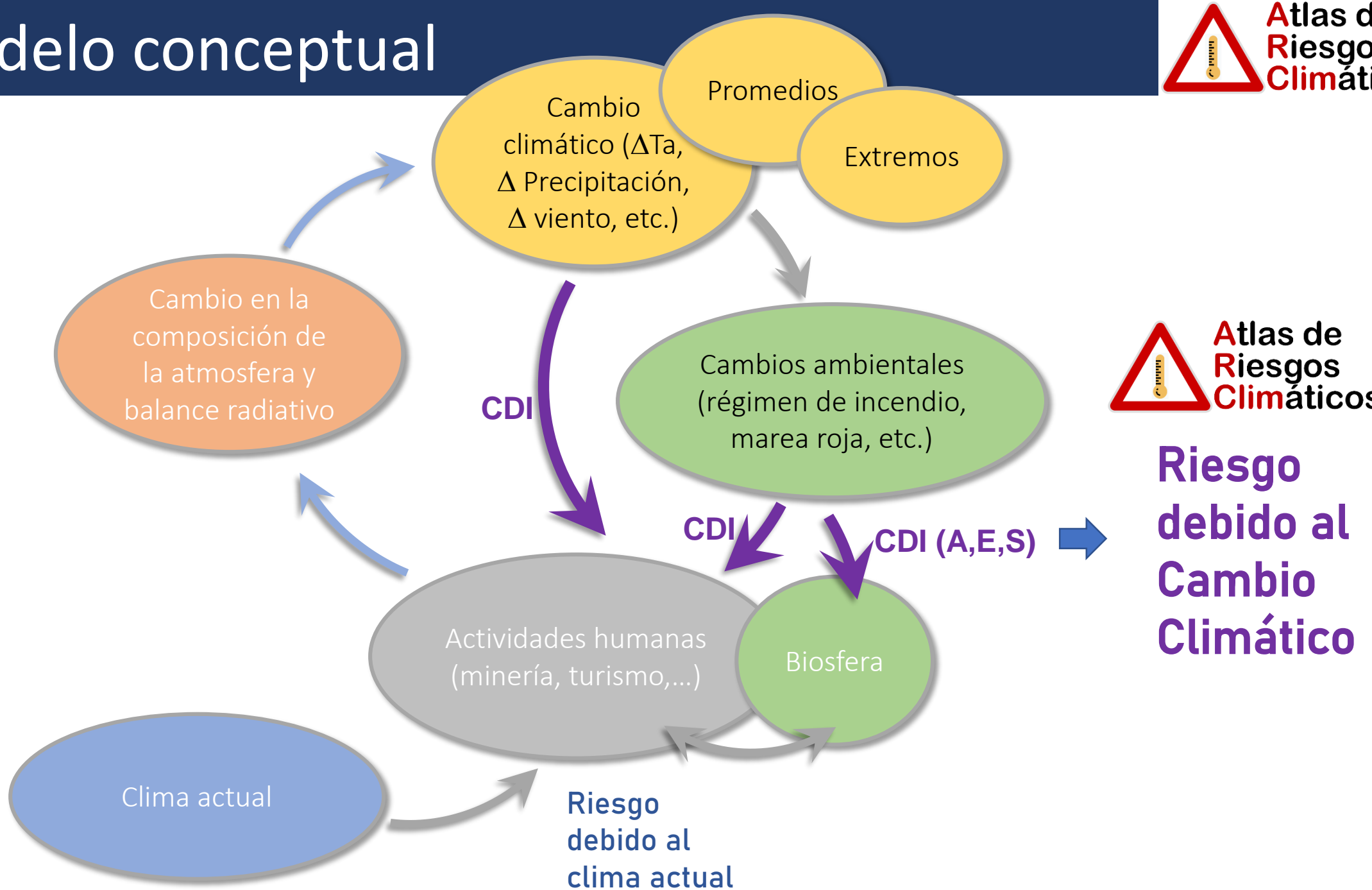
Cada modelo tiene su propia evolución temporal, pero el resultado para una fecha específica (Enero 1991) no tiene relación con el valor observado



Las condiciones medias en periodos decadales (30 años) son adecuadamente representadas por los modelos

El promedio multi-modelo es una medida especialmente robusta

Modelo conceptual




- ✓ Desarrollar un conjunto de mapas de **riesgos relacionados con el cambio climático** para Chile empleando un **marco conceptual común** y una **base de datos consistente**.
- ✓ Los mapas comunicarán información sobre los impactos y riesgos climáticos, la exposición y la sensibilidad de diversos sectores y sistemas con **cobertura nacional y detalle comunal**.
- ✓ La información se despliega en una plataforma web que permite una visualización simple y la descarga de datos, convirtiéndose así en una **herramienta** importante para el diseño de políticas públicas y la implementación de medidas de adaptación.

- $R = A \cap E \cap S$ (Definición actual del IPCC-5) en forma desagregada (por sistema y amenaza climática) empleando Cadenas de Impacto
- Se evaluará a nivel comunal (o puntual) considerando exposición y sensibilidad actual, sin proyección de CA
- Validación de CDI por grupos externos
- El riesgo se evalúa considerando clima histórico reciente (1980-2010) y futuro (2035-2065 bajo RCP8.5)
- 20+ GCM → datos diarios en grilla de 5x5 km² sobre Chile

- $R = A \cap E \cap S$ (Definición actual del IPCC-5) en forma desagregada (por sistema y amenaza climática) empleando Cadenas de Impacto
- Se evaluará a nivel comunal (o puntual) considerando exposición y sensibilidad actual, sin proyección de CA
- Validación de CDI por grupos externos
- El riesgo se evalúa considerando clima futuro (**2035-2065 bajo RCP8.5**) en relación al periodo histórico reciente (**1980-2010**)
- 20+ GCM → datos diarios en grilla de 5x5 km² sobre Chile (gran BD climática)

Cadenas de Impacto (CDI)



Identificar sistema o sector potencialmente afectado por el cambio climático.
Un posible punto de partida es examinar la condición actual.

Identificación de la amenaza
climática o ambiental

Caracterización
del sistema

Cuantificación de la Amenaza (A) debido al
cambio climático (modelación)

Cuantificación de la
Exposición (E)

Cuantificación de la
Sensibilidad (S)

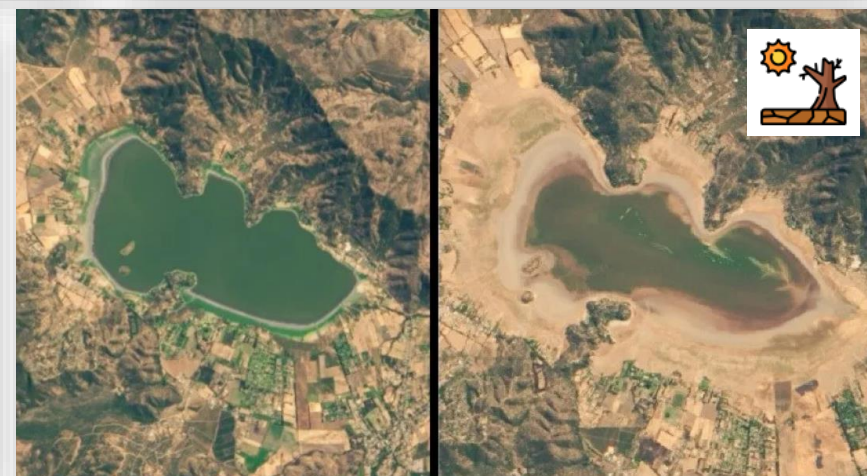
Determinación del Riesgo
 $R = A \times E \times S$ (definición actual IPCC)

Visualización
y análisis

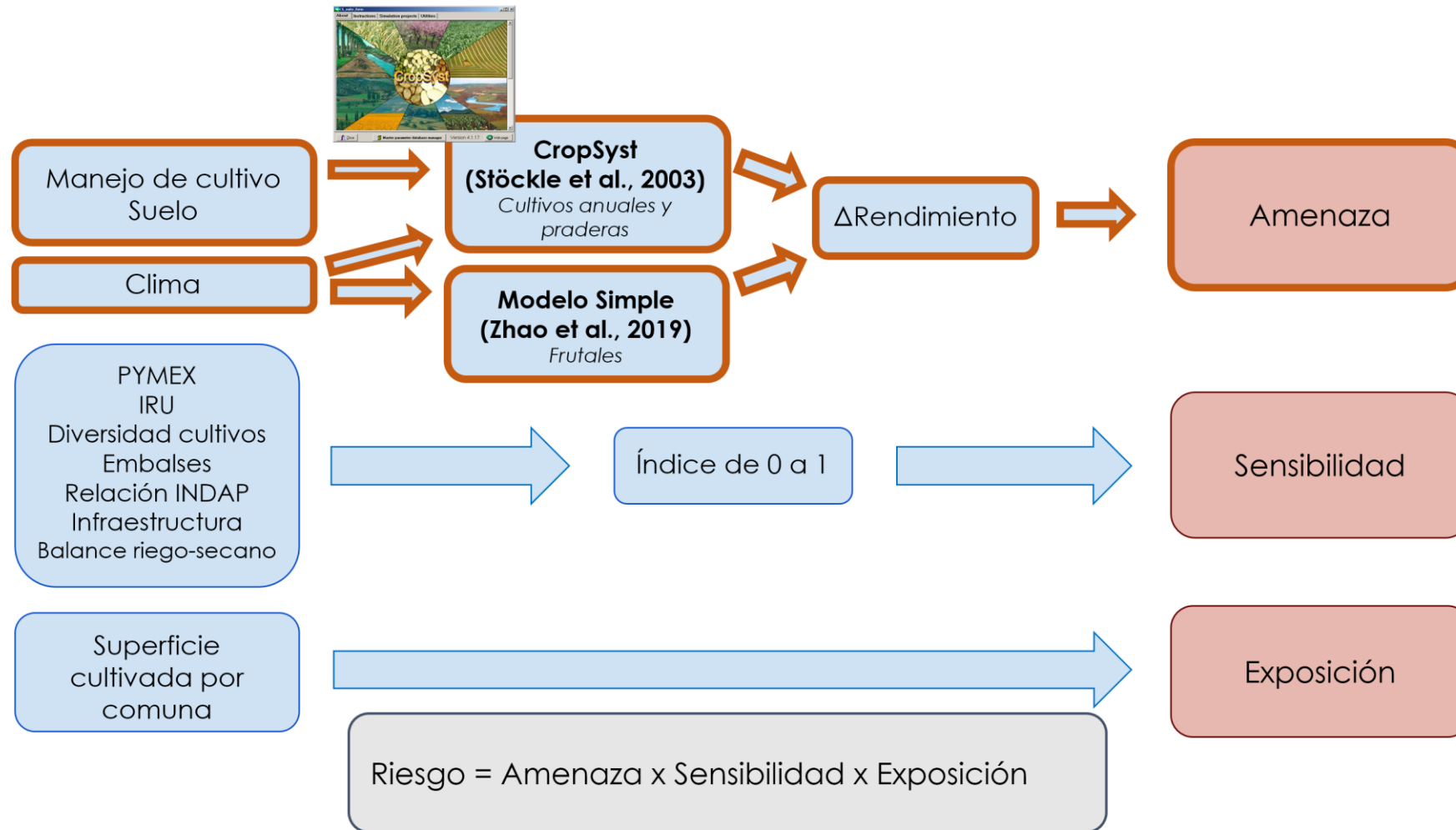
Una cadena es tan fuerte como su eslabón mas débil

*Algunas CDI relevantes y plausibles no pudieron ser evaluadas por falta de alguna componente
e.g.: Infección de virus Hanta*

Amenazas: Climáticas y Ambientales



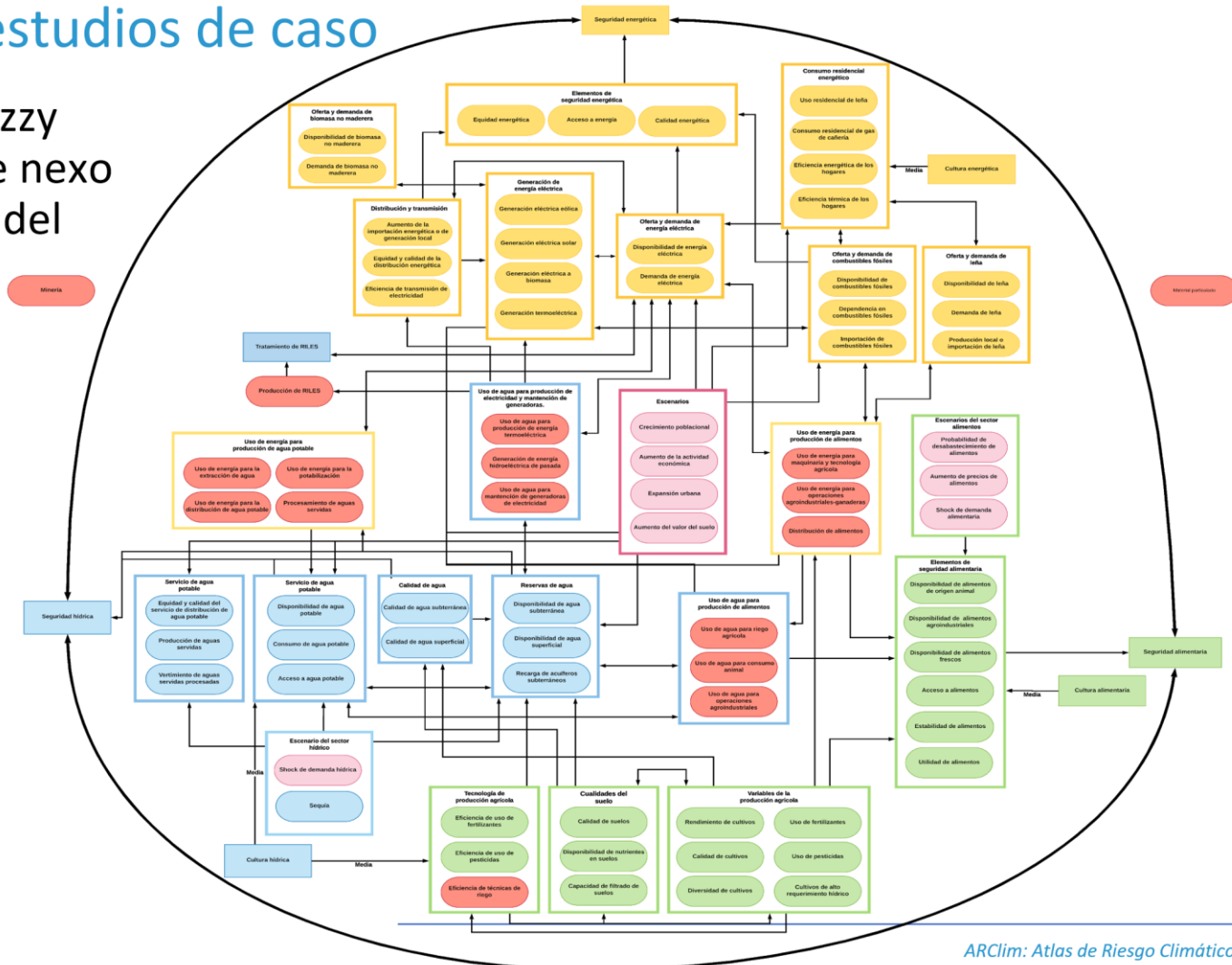
Modelación de la amenaza: Agro



Modelación de la amenaza: AH

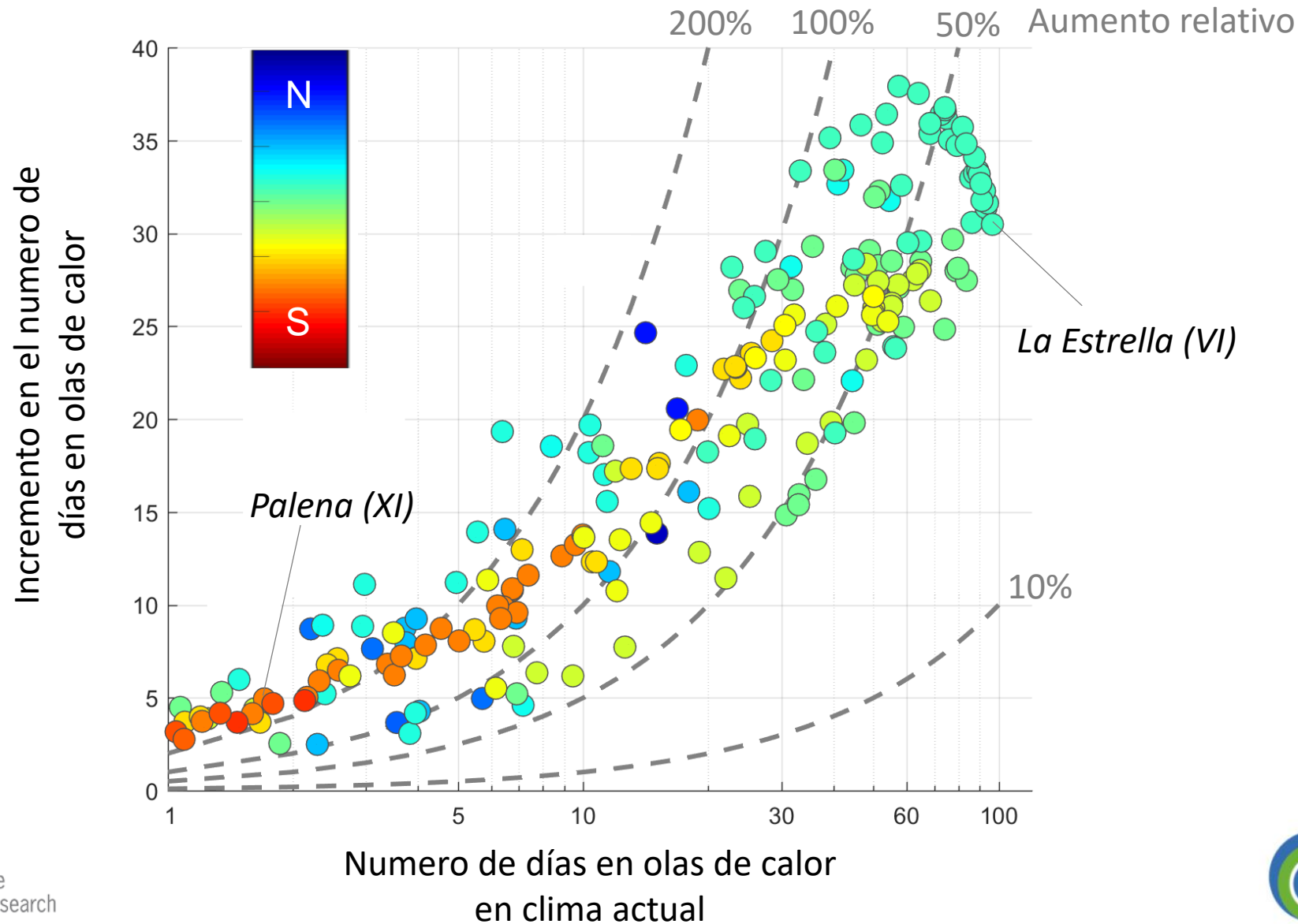
Resultados estudios de caso

Ejemplo de 'fuzzy cognitive map' de nexo W-E-F, cuenca del Cachapoal

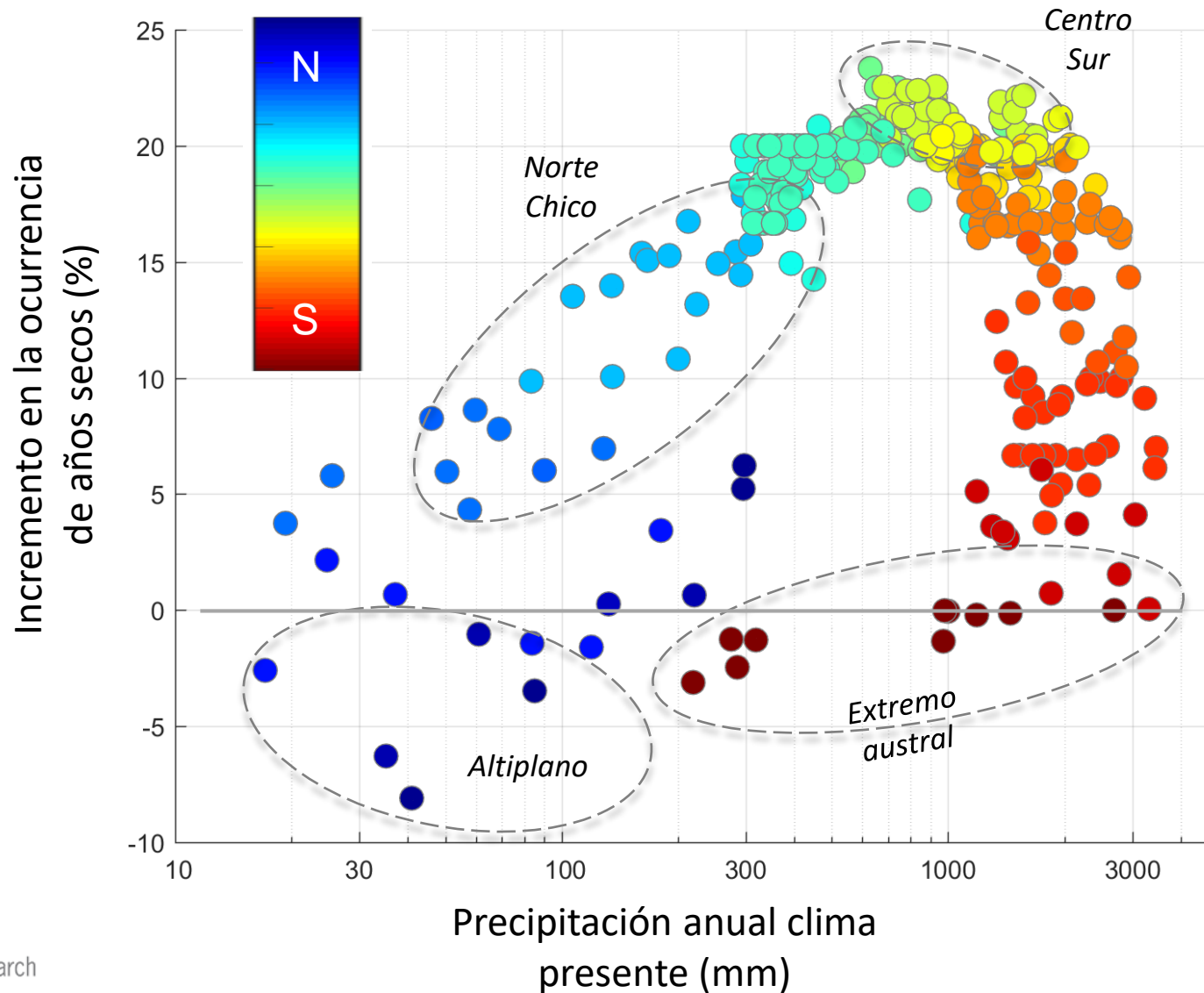


ARClm: Atlas de Riesgo Climático

Amenaza: Absoluta o Relativa?



Amenaza: Absoluta o Relativa?



Cadenas de Impacto (CDI)

$$R = A \times E \times S \text{ ???}$$

Consideremos el riesgo de inundaciones en tres ciudades con igual amenaza (A)

Exposición
(tamaño)



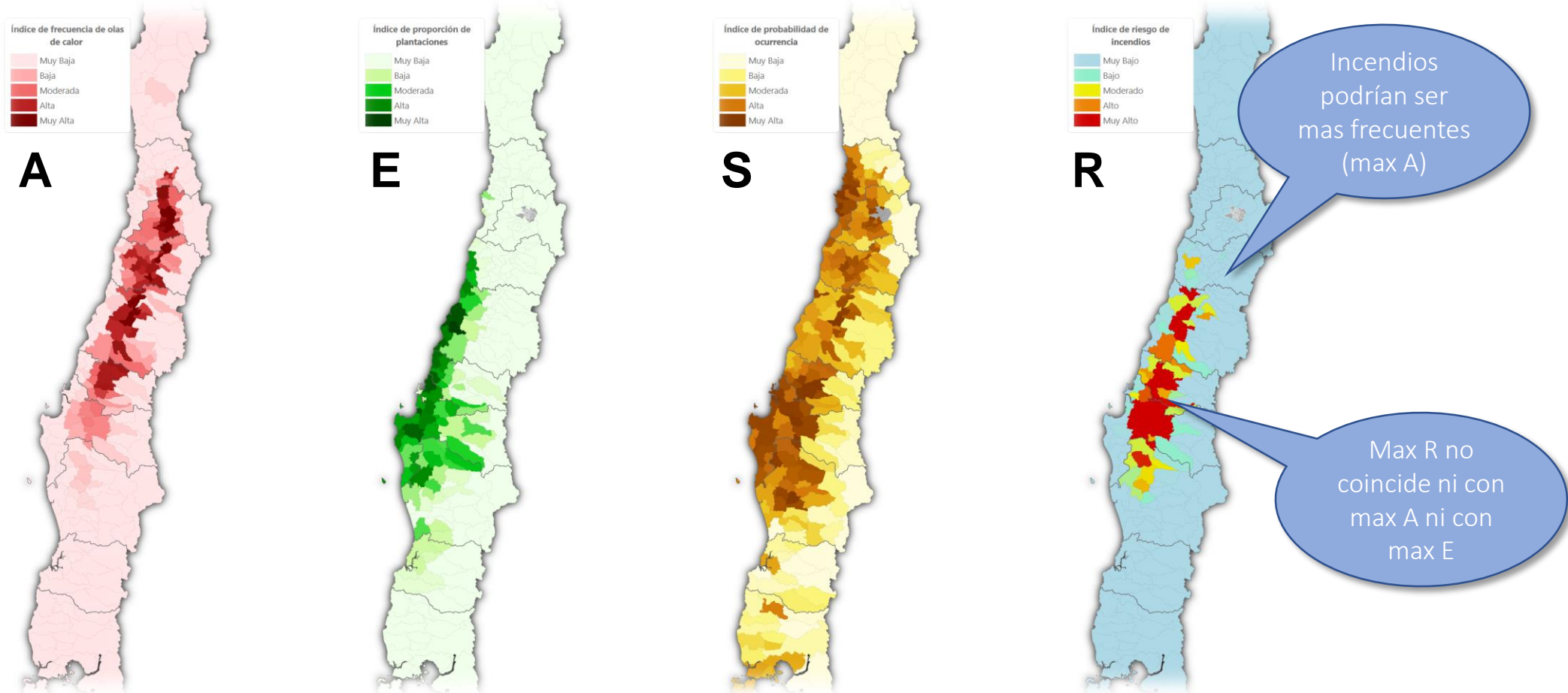
Sensibilidad
/Vulnerabilidad



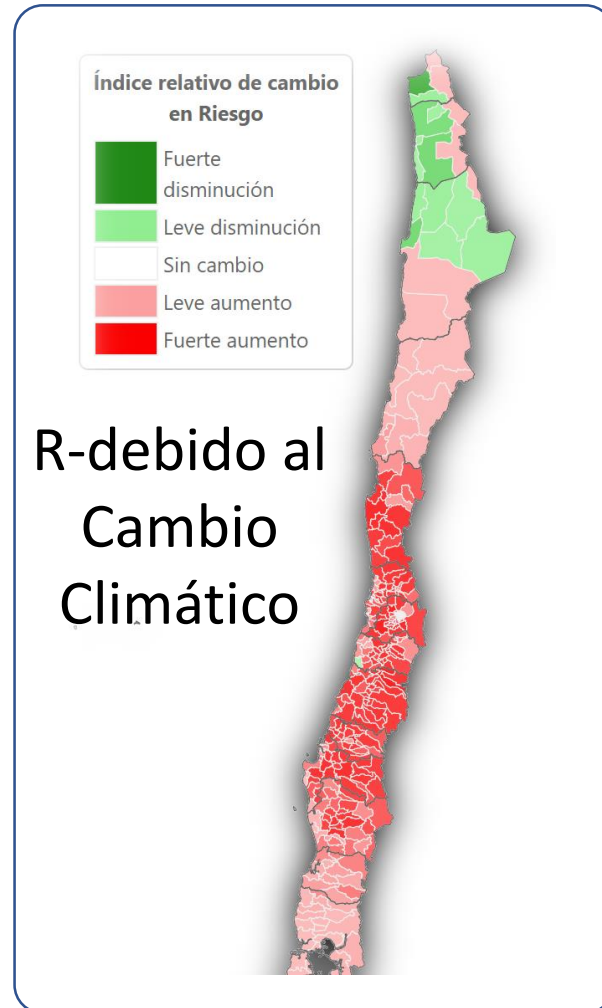
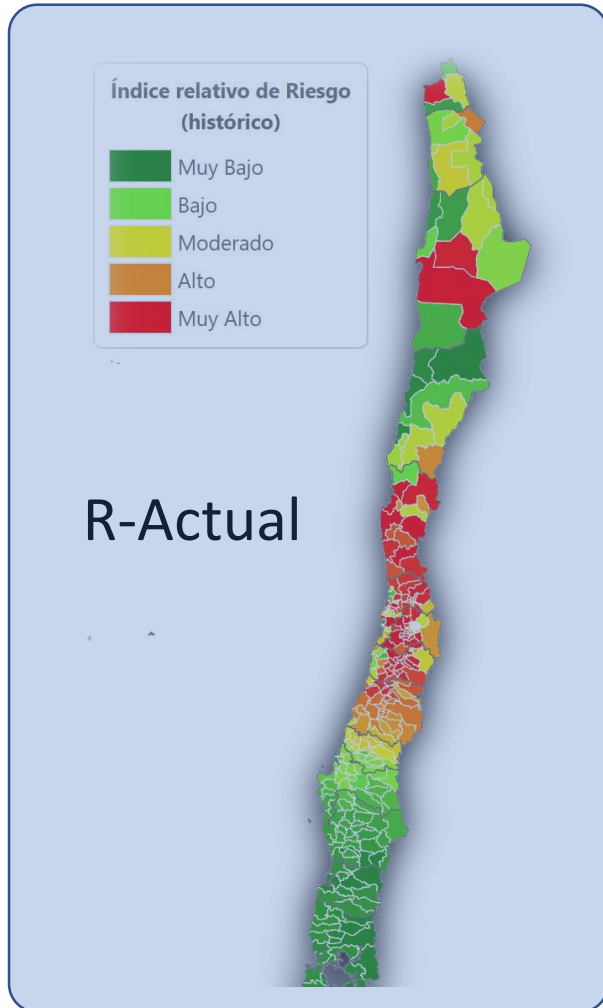
Cadenas de Impacto (CDI)

Riesgo de incendios forestales por olas de calor
El mapa de riesgo ordena las comunas de acuerdo al producto $A \times E \times S$

Cuidado con la sobre interpretación del mapa de riesgo!



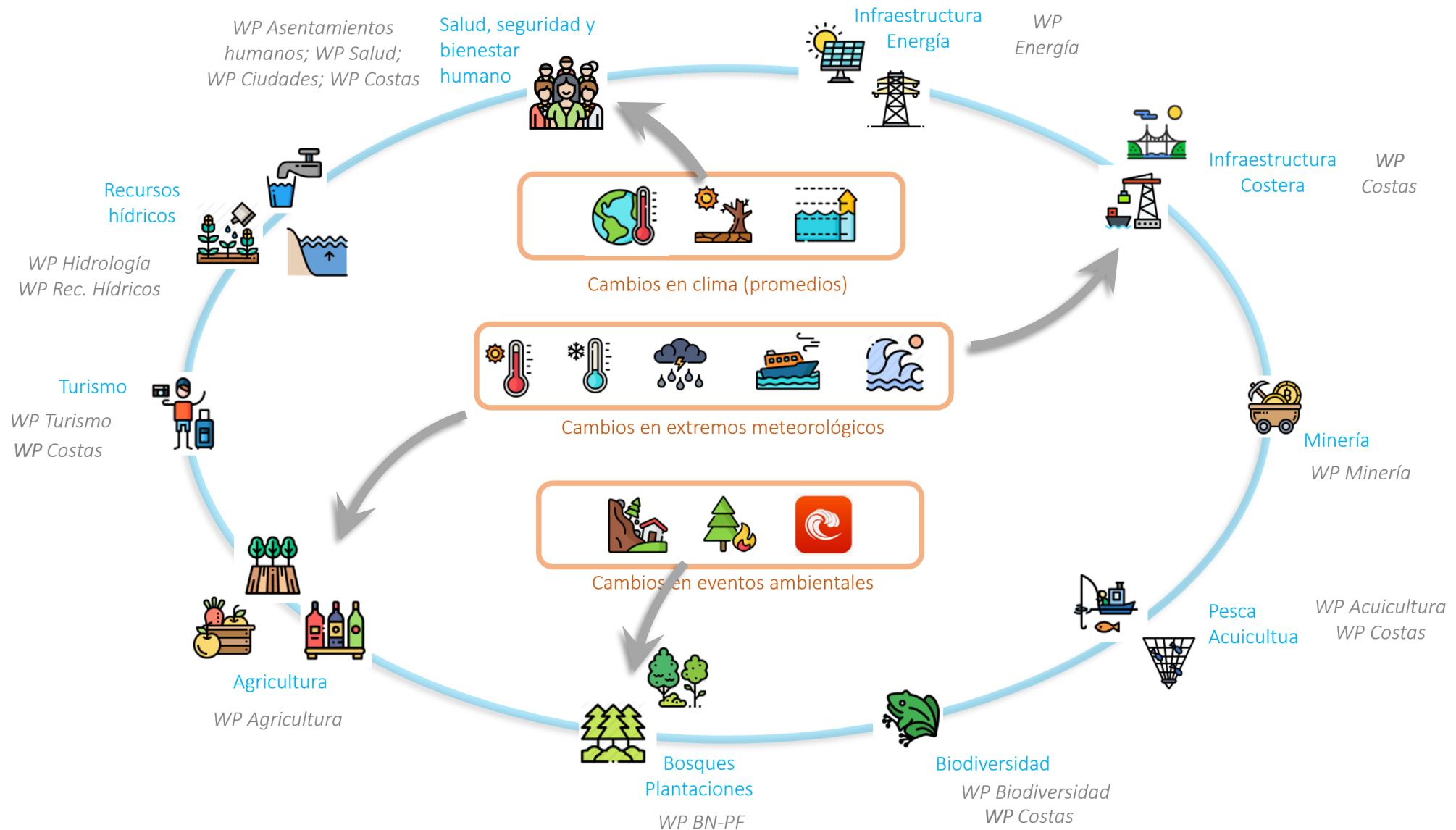
Riesgo disminución de seguridad hídrica doméstica rural



En este proyecto, para cada CDI se **evaluó el Riesgo debido al cambio climático** (diferencia de condiciones futuras menos históricas).

No obstante, la condición media del clima y sus variaciones en el periodo histórico (1980-2010) ya contienen amenazas que en algunos casos (pero no siempre) han sido enfrentadas con capacidad adaptativa. En algunas CDI se dispone también del riesgo presente.

Sectores / GT / Amenazas



Instituciones / Grupos de Trabajo



Camila Cabrera
Daniela Quiroga
Luis Cifuentes

Francisco Meza
David Morales
Diego González
Katherine Duarte
Valentina Jara

Patricio Pliscoff



Jorge Gironás
Sebastián Vicuña
Eduardo Bustos
Carlos Calvo



UNIVERSIDAD DE CHILE

Ximena Vargas
Pablo Mendoza
Franco Ricchetti
Catalina Córdova

Centro UC
Energía

Alvaro Lorca
Enzo Sauma
Tomás Tapia



Doris Soto
Ricardo
Norambuena
Jorge León
Yuri Soria



Maricel Gibbs
Rodrigo Meza



Anahí Urquiza
Rubén calvo
Marco Billi
Catalina Amigo



Patricio Winckler
Manuel Contreras
Cristián Larraguibel



Universidad Austral de Chile



Alejandro Miranda
Jaime Carrasco
Antonio Lara
Mauro González



J. Quesne
Cristian Henriquez



Diego Rivera
Liliana Pagliero
Douglas Aitken
Alex Godoy

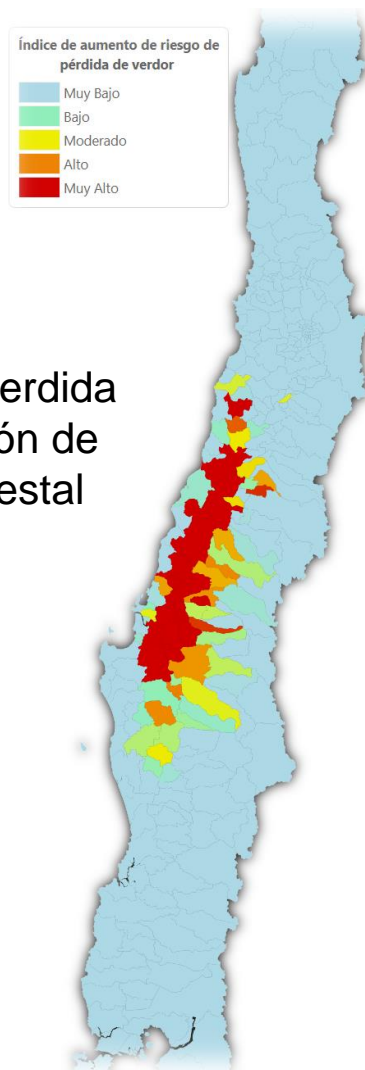


Mark Falvey
Marcelo Ibarra
Paula Jarpa
Josefina Errázuriz

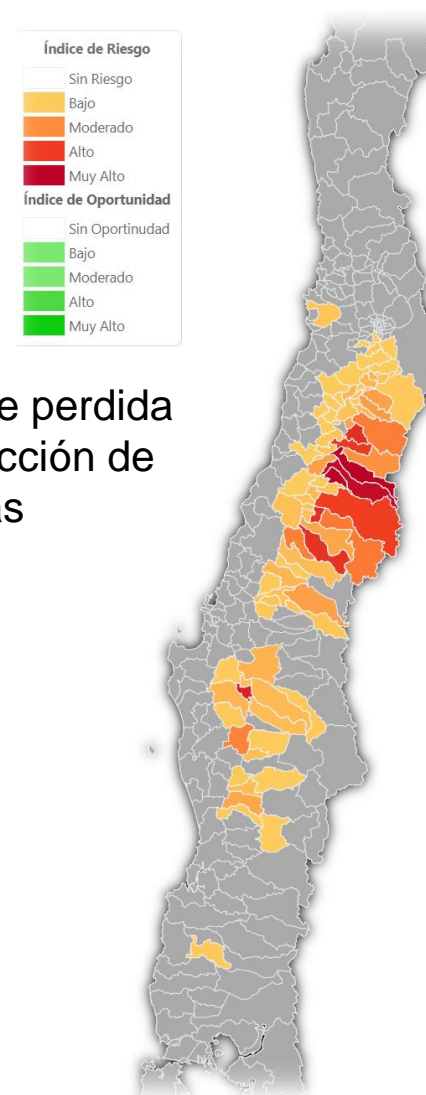
Sector	WP	CDI 1	CDI 2	CDI 3	CDI 4
Bosques Nativos	Forestal UACH	Incendios	Crecimiento		
Plantaciones Forestales	Forestal UACH	Incendios	Crecimiento		
Mineria	Mineria	Oper. Mineras	Oper. Faenas	Oper. Relaves	
Agricultura	Agro_PUC	Prod. Frutales*	Prod. Cultivos*	Prod. Praderas*	
Infra. Costera	Costas	Oper. Puertos	Oper. Caletas		
Recursos Hídricos	Hidro-UCH	Inund. Urb.	Inund. Rural	Sequia Hido	
	Hidro-PUC	Seguridad Riego			
Turismo	Costas	Erosión Playas			
	Akuterra	Vistas SNASPE*	Turismo Nieve	Turismo Playas*	
Pesca Artesanal	INCAR	Desembarques			
Acuicultura	INCAR	Salmon Agua Dulce	Samon Engorda*2	Semillas Mejillon	Engorda Mejillon
Biodiversidad	Biodiversidad	BD Flora	Bd Flora	BD Fauna	BD Fauna
Salud/Bienestar Humano	Asentamientos	Morbilidad Urbana	Seg. Hídrica Rural	Seg. Hídrica Urbana	
	Salud PUC	Mortalidad neta	Mortalidad +	Mortalidad -	
	Ciudades	Isla Calor Urbana	Efecto heladas	Confort Term.	
	Costas	Anegamientos pob.			
Inf. Energía	Energía PUC	Transmisión Elec.	Hidro Generación	Gen. Eólica	Gen. Solar

Olas de Calor
Cambio Temperatura
Sequías
Lluvias intensas
Marejadas
Multi-variable

Riesgo de pérdida de producción de biomasa forestal



Riesgo de pérdida de producción de Manzanas

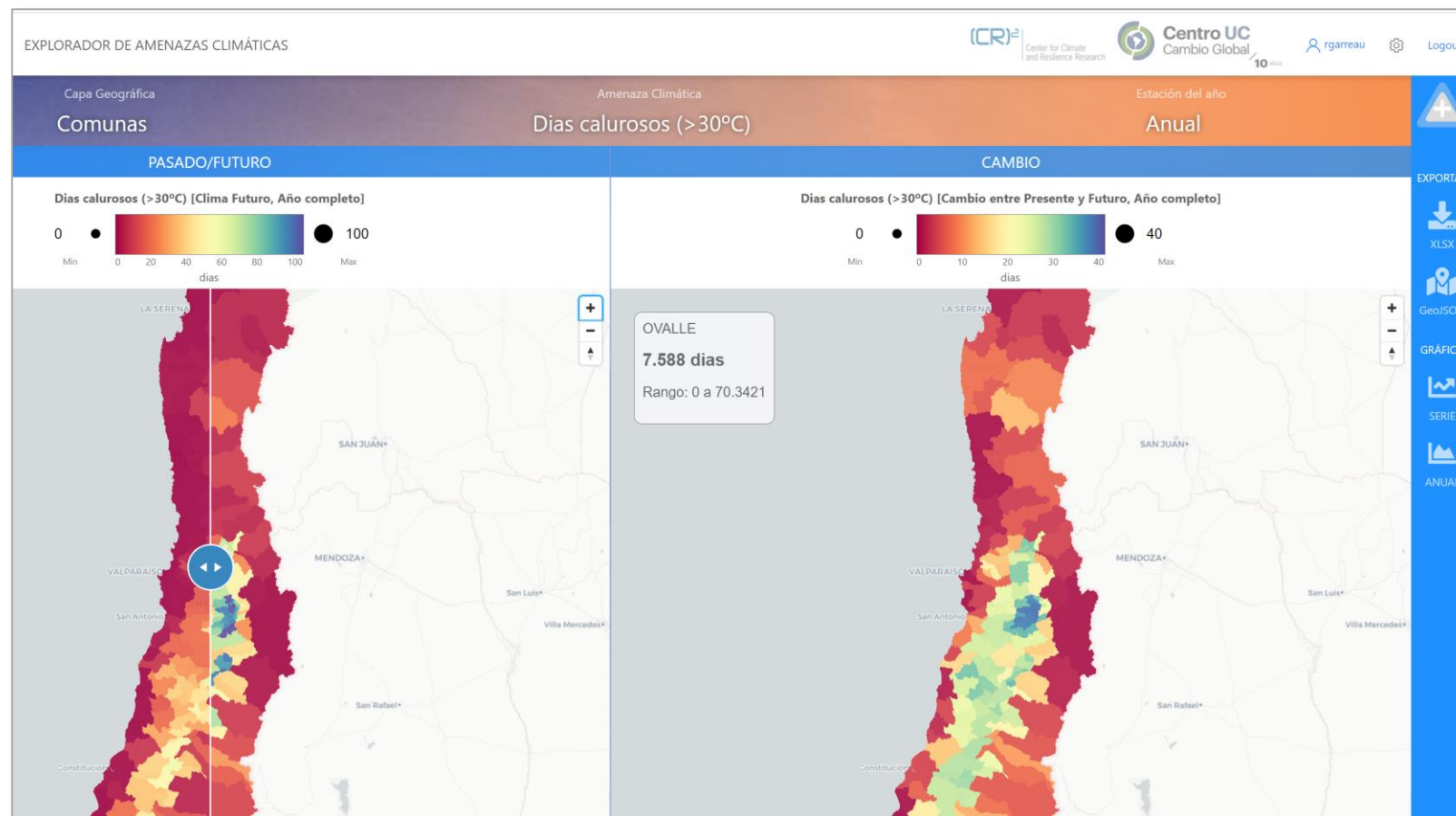


Los mapas de **riesgo debido al cambio climático** son un ordenamiento del riesgo (AxExS) a nivel comunal para un **sistema específico**

Esta información servirá para evaluar el riesgo compuesto comunal (o regional) mediante análisis adicionales, **pero no tiene sentido sumar los valores comunales**



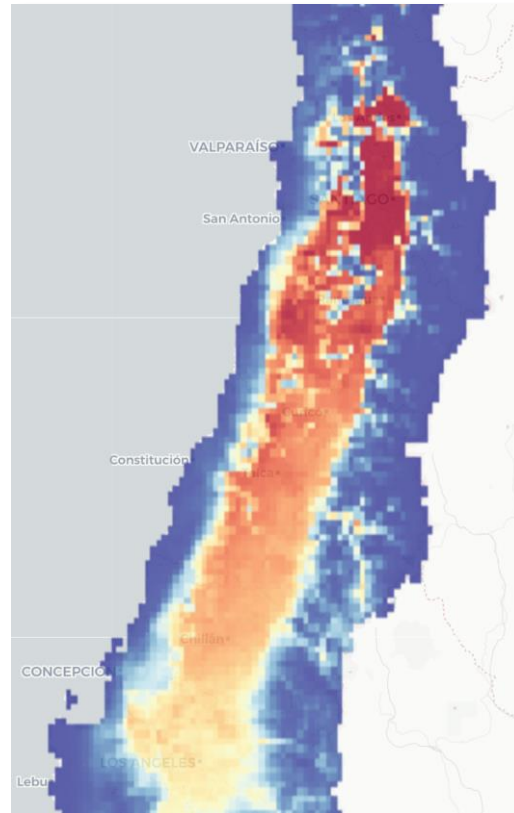
- Visualización de mapas de las **amenazas climáticas** mediante 45 **índices** agregados de Calor, Frío, Precipitación, etc.
- Disponible en **unidades territoriales 'útiles'** (Comunas, ciudades, cuencas, etcétera)
- Visualizar/exportar de series de tiempo



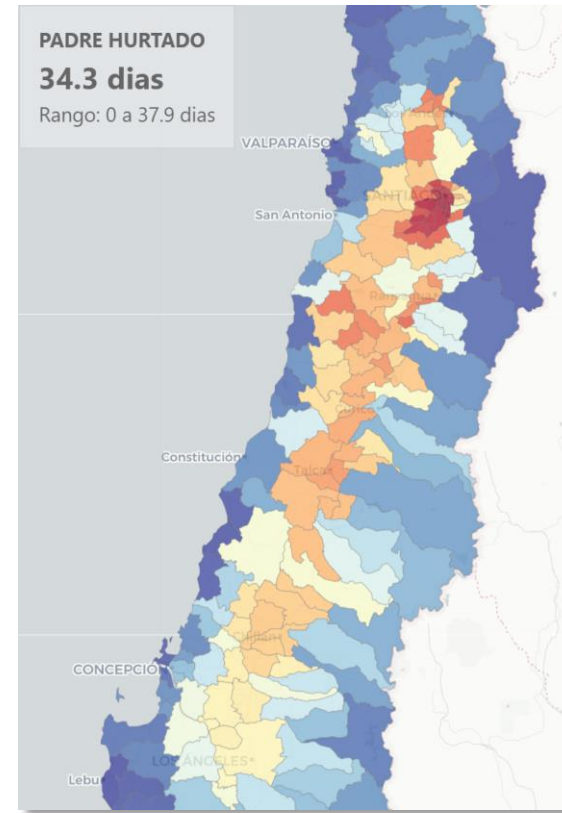
Unidades territoriales

- Raster (grilla 5x5 km²)
- Comunas
- Provincias
- Regiones
- Parques Nacionales
- Ciudades
- Puertos
- Cuencas hidrográficas
-

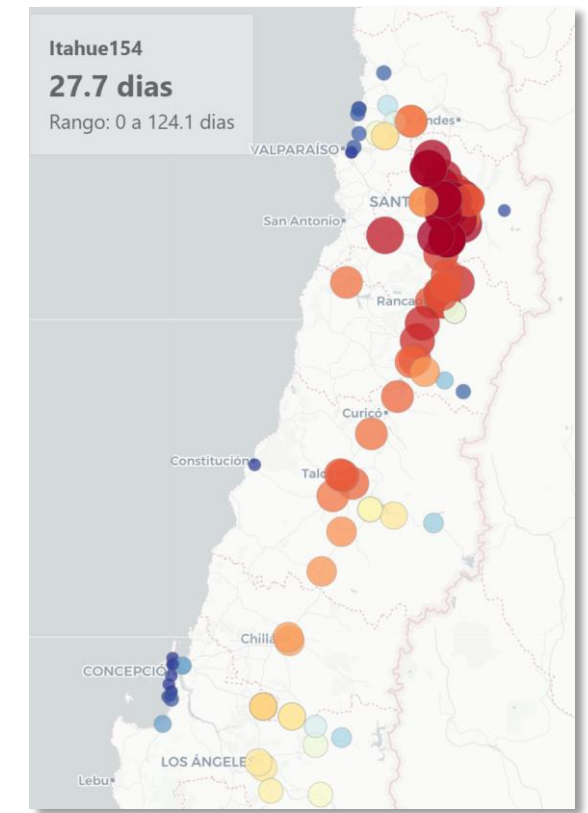
Grilla Original



Comunas















Subestaciones Elec



Días de calor: Diferencia Futuro menos Presente

Atlas de Riesgos

Explorar nuestro atlas de riesgos climáticos

 <p>Agricultura</p>	 <p>Bosques Nativos</p>	 <p>Salud y Bienestar Humano</p>	 <p>Acuicultura</p>
 <p>Turismo</p>	 <p>Pesca Artesanal</p>	 <p>Infraestructura Energía</p>	 <p>Silvicultura</p>
 <p>Biodiversidad</p>	 <p>Infraestructura Costera</p>	 <p>Recursos Hídricos</p>	 <p>Minería</p>

⚡ Energía Eléctrica

El sector eléctrico no es ajeno a los cambios debido que la sociedad se ha desarrollado con un pilar fundamental en la energía eléctrica. Su importancia hace que sea indispensable que el sistema eléctrico esté preparado para los inminentes cambios climáticos y preparar estrategias para enfrentarlos. Es por ello surge la necesidad de identificar los riesgos, evaluar la infraestructura actual del sistema y preparar medidas de planificación adaptativas a las nuevas condiciones de operación. El grupo de trabajo posibles impactos sobre Sistema Eléctrico Nacional a nivel de transmisión y generación eléctrica, donde el impacto es representado a nivel comunal en relación con la variación de costos y energía no suministrada.



Impacto de disminución del Recurso Eólico

Esta cadena de impacto representa los efectos sobre los costos marginales del sistema eléctrico asociado a la variación de la velocidad del viento percibida por los parques generación eólica de nuestro país. El índice toma valores altos en comunas con alto consumo eléctrico conectadas donde su suministro eléctrico se encuentra en la necesidad de compensar la generación eléctrica utilizando otros recursos más costosos.



Impactos de Disminución del Recurso Hídrico

Esta cadenas de impacto representa los efectos sobre los costos marginales del sistema eléctrico asociado a la disminución del recurso hídrico de las principales plantas de generación hidroeléctrica del país. El índice toma valores altos en comunas con alto consumo eléctrico conectadas donde su suministro eléctrico se encuentra en la necesidad de compensar la generación eléctrica utilizando otros recursos más costosos.



Impacto del Cambio en Radiación Solar

Esta cadena de impacto representa los efectos sobre los costos marginales del sistema eléctrico asociado a la variación de radiación media percibida por las centrales de generación solar de nuestro país. El índice toma valores altos en comunas con alto consumo eléctrico conectadas donde su suministro eléctrico se encuentra en la necesidad de compensar la generación eléctrica utilizando otros recursos más costosos.

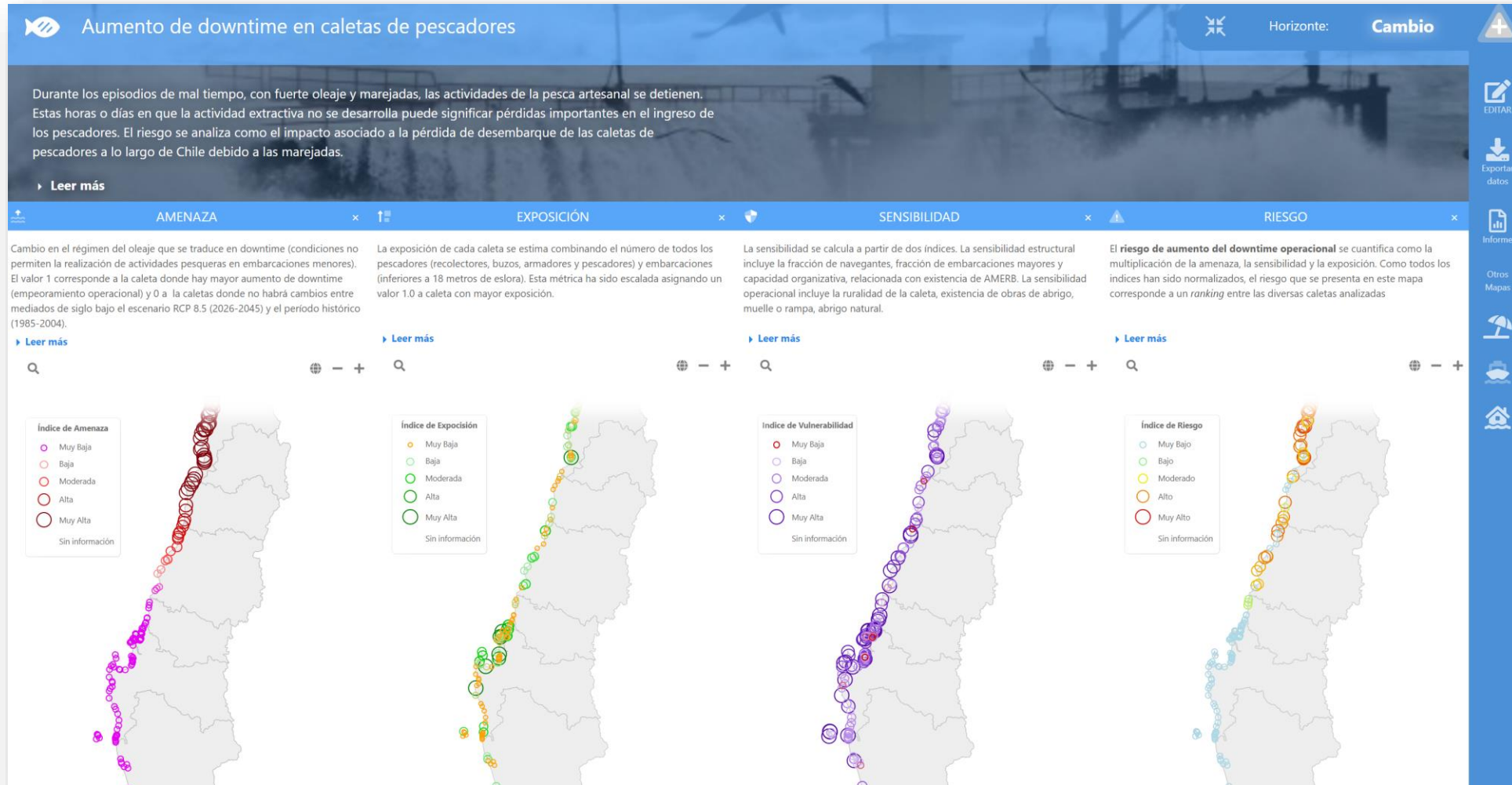


Impacto de Aumento de Temperatura sobre Líneas de Transmisión

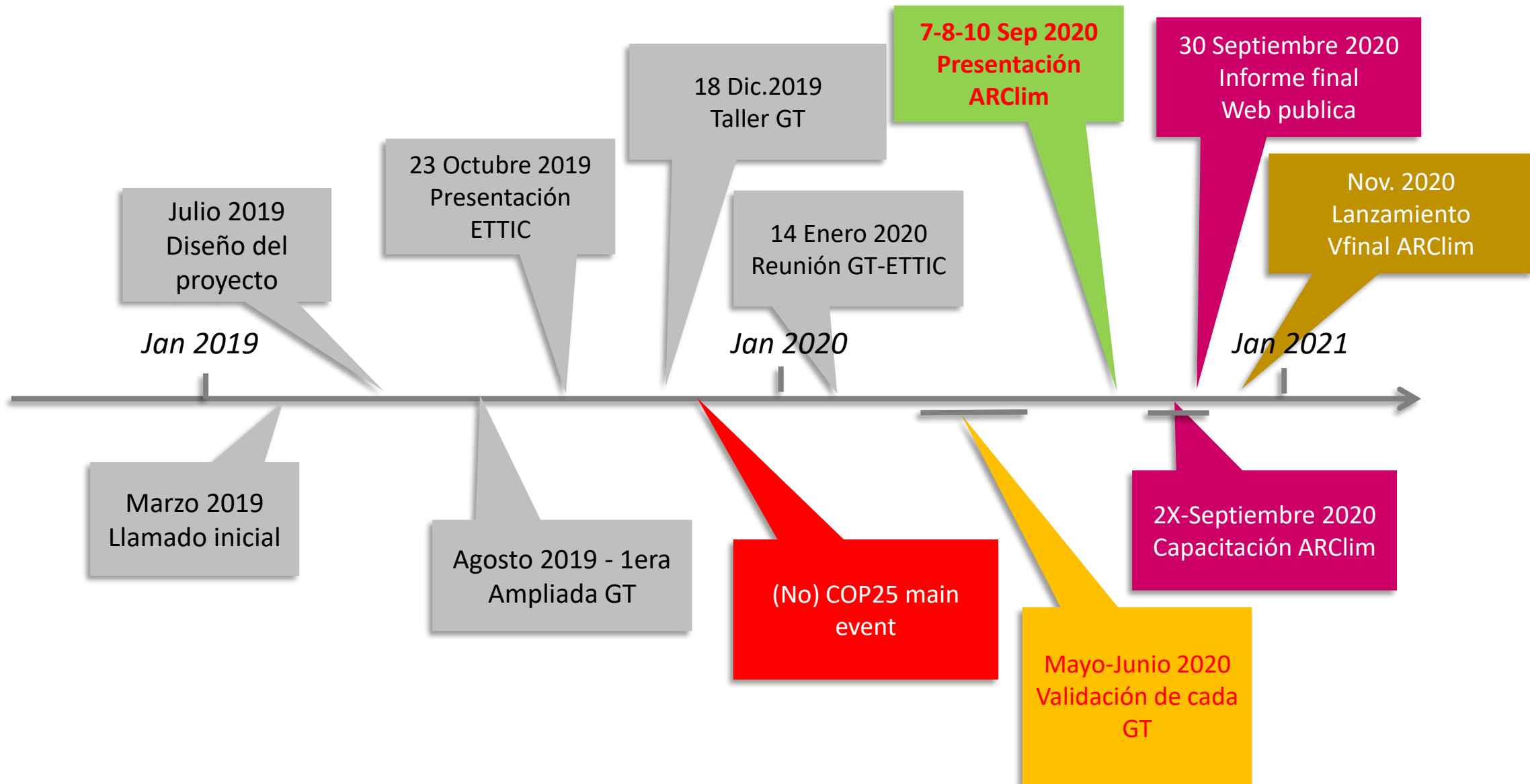
El aumento de temperatura del aire disminuye la eficiencia de la transmisión de energía eléctrica a través de líneas de alta tensión. Este cadena de impacto representa los efectos sobre los costos marginales del sistema eléctrico asociado al aumento de temperaturas sobre las líneas de transmisión eléctrica. El índice toma valores altos en comunas con alto consumo eléctrico conectadas con líneas donde la variación de la capacidad de flujo limita la operación del sistema.







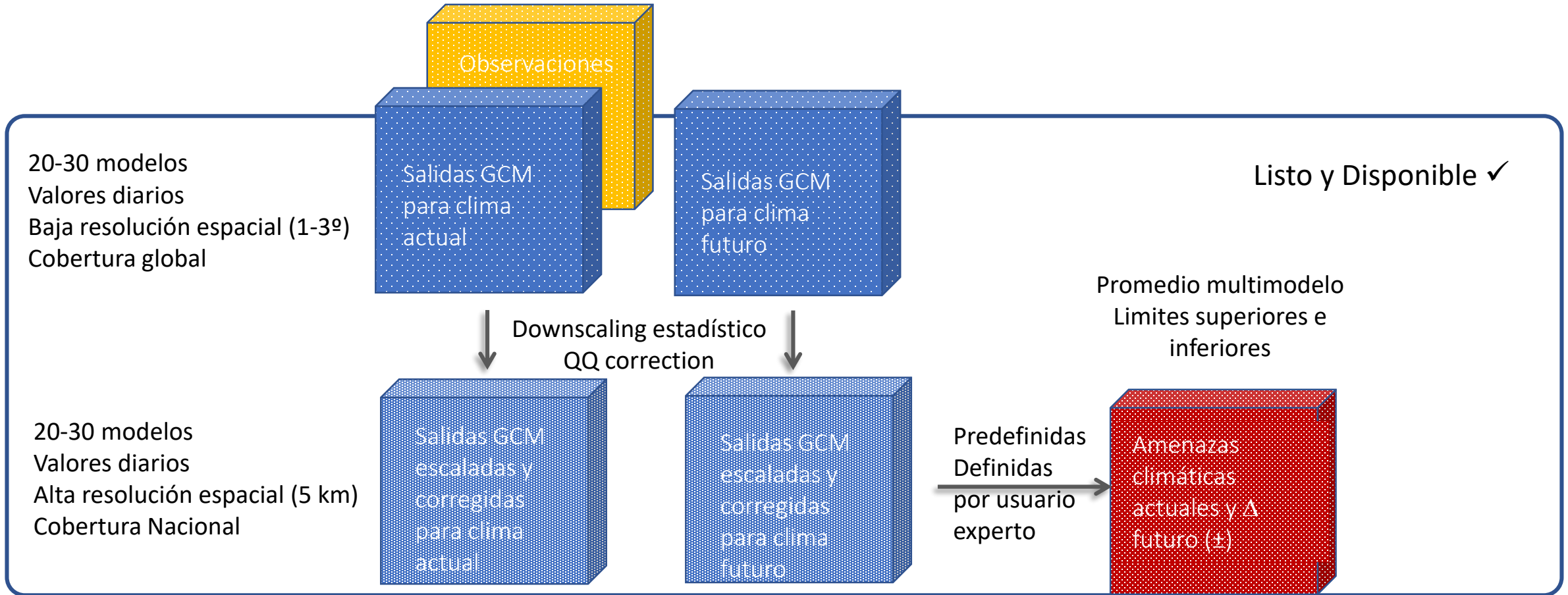
Línea del tiempo

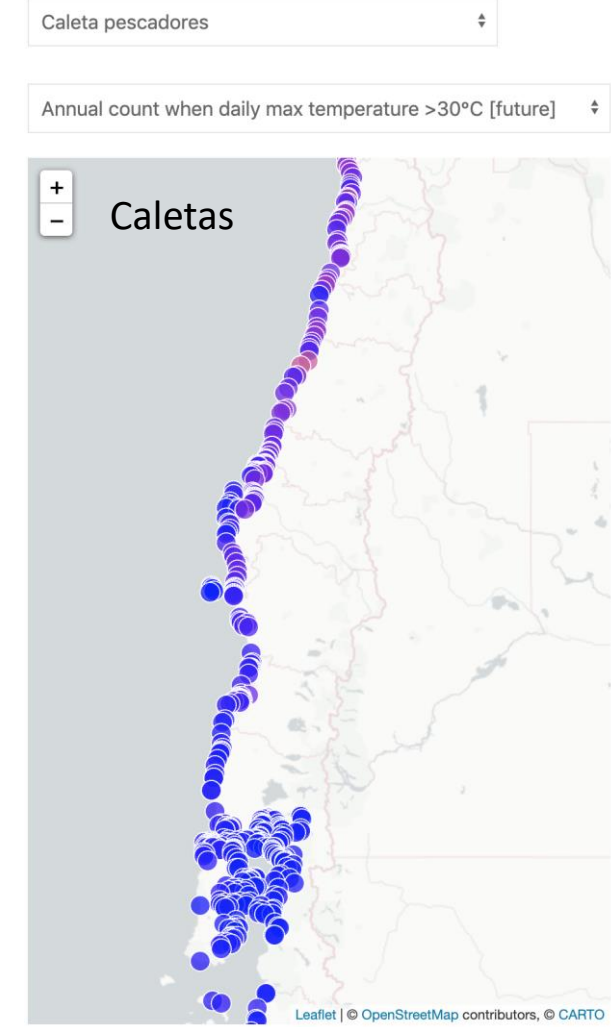
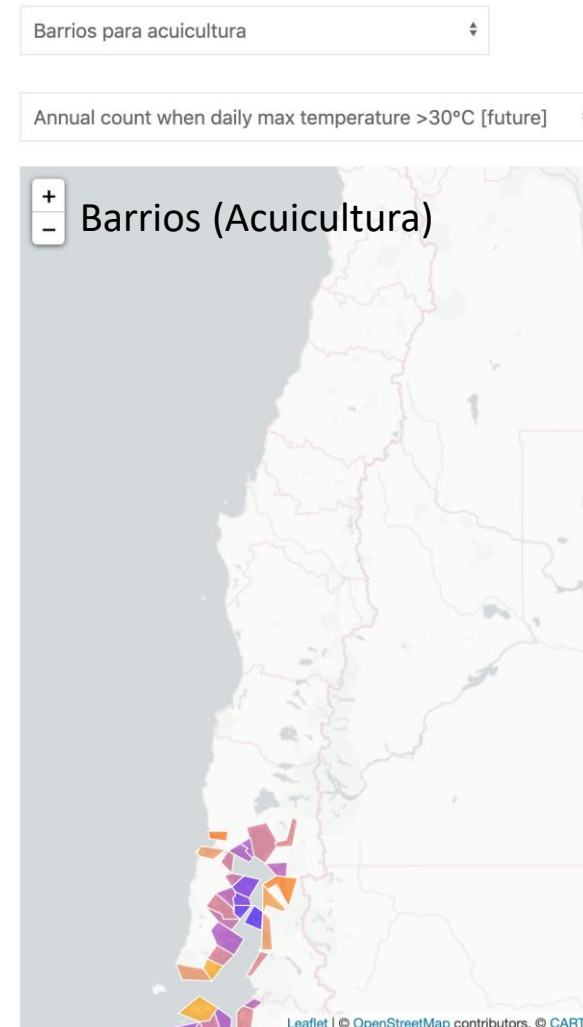
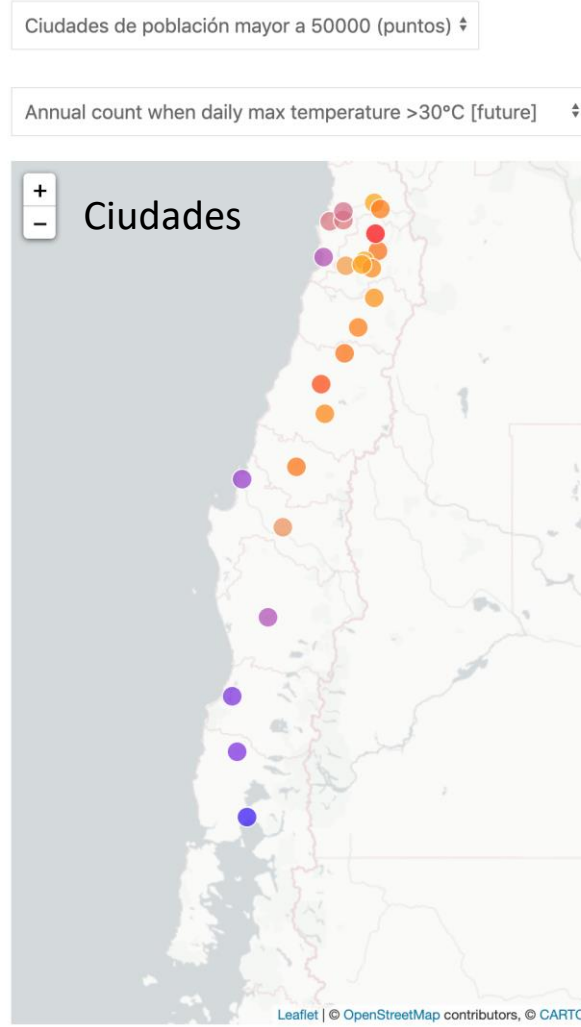
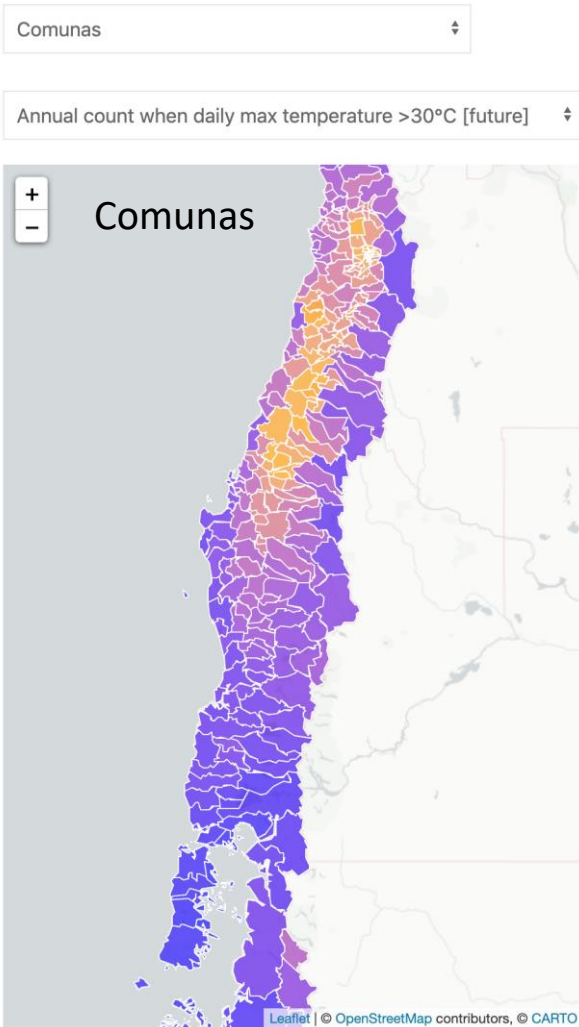


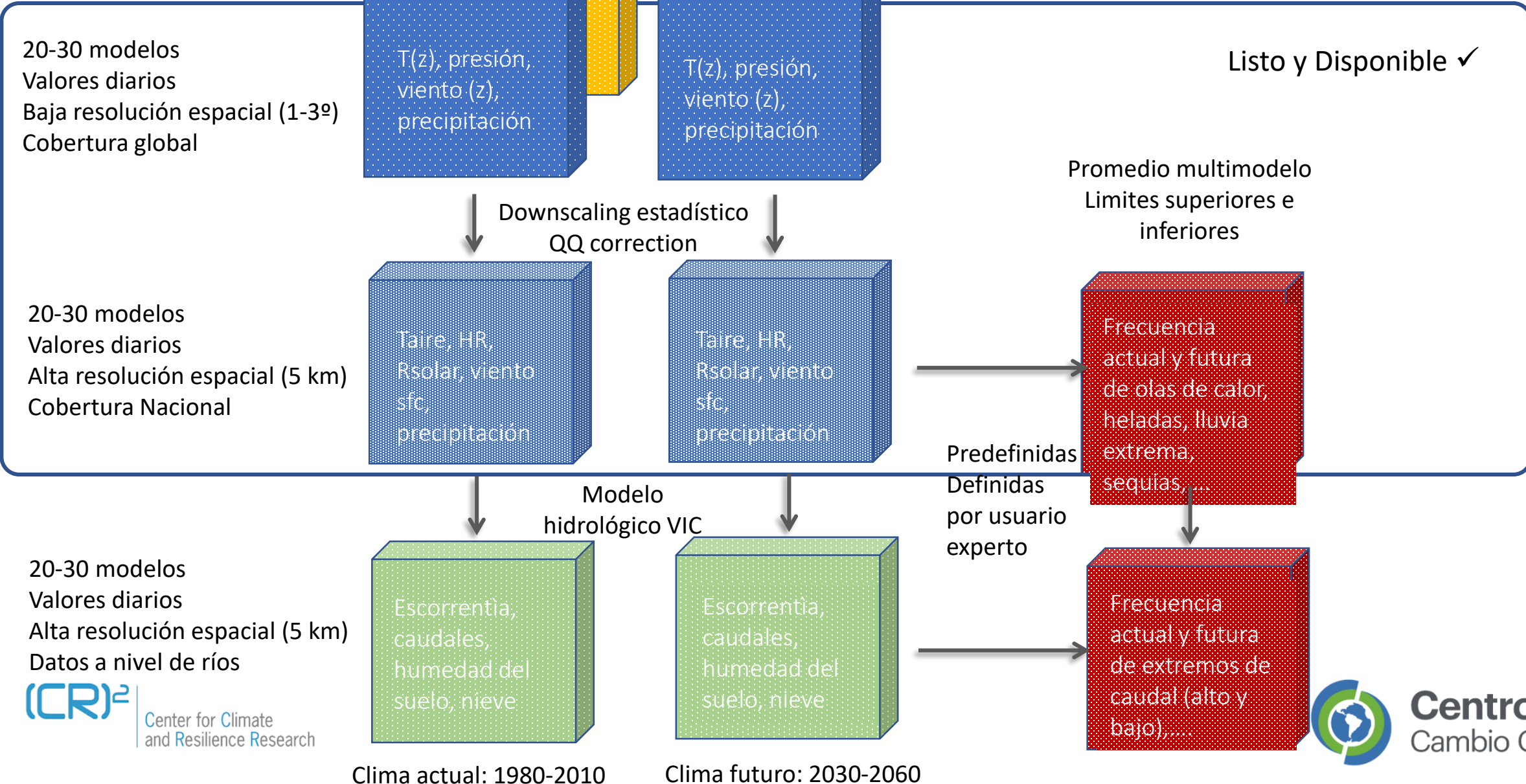
- 43 cadenas de impacto con riesgo relativo a nivel comunal, cobertura nacional, marco común en plataforma Web
- Explorador de amenazas, mapas de especies, BD climática y atributos
- Herramienta y no “informe final”
- Principales amenazas: aumento olas de calor, sequia y marejadas
- Diversidad en la distribución del riesgo, dominadas por AmC y/o Expo

- Riesgo presente/futuro o Cambio de Riesgo?
- Como comparar Riesgos relativos/sectoriales (co\$to)
- Extremos ambientales
- Riesgo compuesto e integración de cadenas (local y nacional)

Material Suplementario







Resumen de cadena de impacto por sector

Sistema	Subsistema	WP	Amenaza	Impacto
Bienestar, Salud y Seguridad población humana	Pobl. urbana y rural <i>Nacional/Comunal</i>	NEST.R3 UCh	Calor extremo (olas de calor)	Efectos adversos sobre la salud humana (mortalidad + morbilidad)
	Población rural <i>Nacional/Comunal</i>	NEST.R3 UCh	Sequia hidro-met	Disminución en la disp. de agua uso domestico
	Pobl. en Centros urbanos <i>Nacional/Puntual</i>	NEST.R3 UCh + Hidro UCh	Inundaciones	Deterioro o destrucción de servicios críticos
	Pobl. en Centros urbanos <i>Nacional/Puntual</i>	NEST.R3 UCh + Energía PUC	Cambios en costo marginal electricidad	Perdida de accesibilidad / calidad de la energía
	Pobl. en Centros urbanos <i>Nacional/Puntual</i>	GreenLab PUC	Cambios en temperatura	Aumentos de mortalidad prematura
	Población en zonas costeras <i>Nacional/Puntual</i>	Costas	Cambio oleaje y nivel del mar	Aumento de la frecuencia de anegación de zonas bajas
	Pobl. grandes ciudades (>50 mil hab o cap regional) <i>Nacional/Puntual</i>	Ciudades PUC	Intensificación isla de calor urbana	Disminución confort térmico y aumento de stress
Aumento de calor				
Heladas			Aumento mortalidad población vulnerable	

Resumen de cadena de impacto por sector

Sistema	Subsistema	WP	Amenaza	Impacto
Bosques y Plantaciones	Bosque Nativo <i>Nacional/Comunal</i>	BN/PF UACH	Aumento Sequias y calor	Disminución de productividad
			Aumento Olas de Calor	Aumento de incendios
	Plantaciones <i>Nacional/Comunal</i>	BN/PF UACH	Aumento Sequias y calor	Disminución de productividad
			Aumento Olas de Calor	Aumento de incendios

Sistema	Subsistema	WP	Amenaza	Impacto
Biodiversidad	Flora <i>Nacional/Comunal</i>	Biodiv PUC	Cambio precipitación	Perdida diversidad Flora
			Cambio Temperatura	Perdida diversidad Flora
	Fauna <i>Nacional/Comunal</i>	Biodiv PUC	Cambio precipitación	Perdida diversidad Fauna
			Cambio Temperatura	Perdida diversidad Fauna

Grupo de Trabajo	Equipo
Bosques y Plantaciones	Alejandro Miranda y equipo UACH

Subsistema: Bosques Nativos (especies....)		Fuente de datos y referencias ↓
<i>Amenaza ambiental asociada a CC (A)</i>	Aumento de temperaturas extremas y olas de calor. Inicialmente se empleará temperatura máxima promedio durante el verano, variable para la cual se tienen estimaciones robustas de su cambio. Eventualmente FWI	Datos climáticos generados por el proyecto
<i>Impacto/Riesgo (R)</i>	Incendios forestales. Las olas de calor inciden directamente en la generación de incendios forestales de magnitud, en especial del área quemada por estos.	Urrutia et al. 2017; Holtz et al. 2009; otros...
<i>Unidad territorial de análisis</i>	Comunal	
<i>Exposición (E)</i>	Superficie de bosque nativo por comuna (ha)	Datos CONAF actualizados y corregidos (explicar como...)
<i>Sensibilidad o Susceptibilidad (S)</i>	Fracción de plantaciones exóticas y densidad de población. Ambos factores aumentan la probabilidad de ocurrencia de incendios en bosques nativos	Referencia ZZZ et al. 2012
<i>Otros aspectos</i>	La exposición podría redefinirse como área de bosque nativo ponderada por su grado de conservación o nivel de biodiversidad.	

Sistema	Subsistema	WP	Amenaza	Impacto
Infra-estructura costera	Caletas <i>Nacional/Puntual</i>	Costas	Oleaje y marejadas	Aumento downtime flota
	Puertos <i>Nacional/Puntual</i>	Costas	Oleaje y marejadas	Aumento downtime puerto

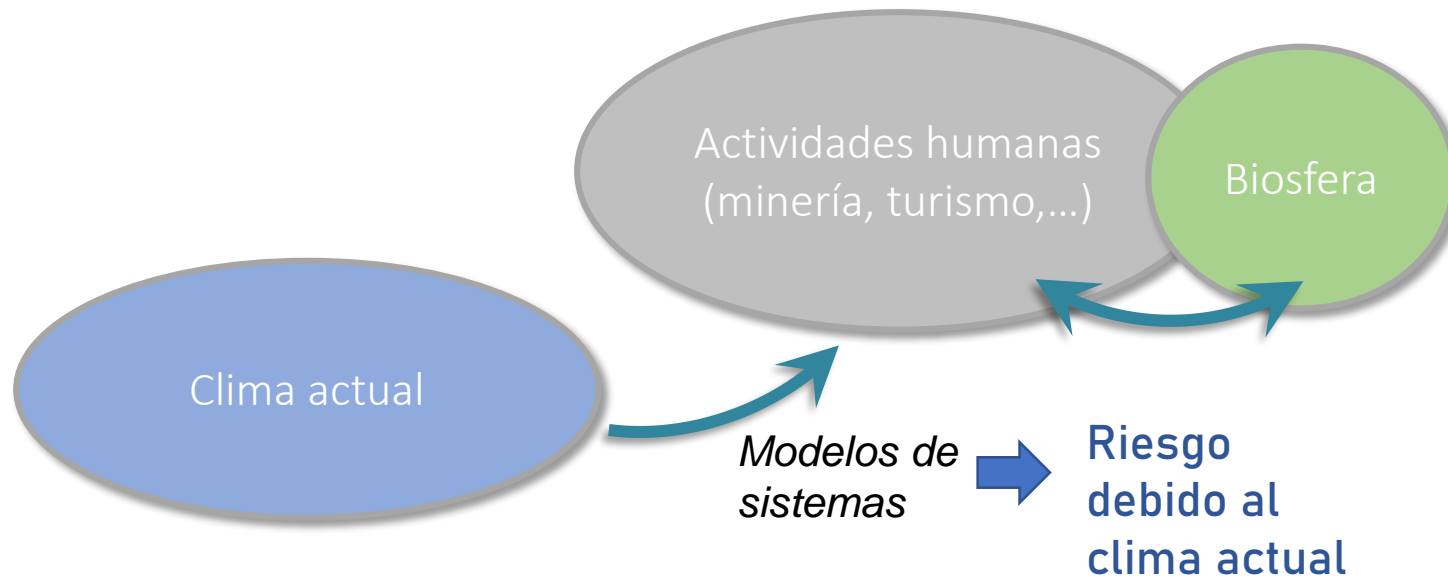
Sistema	Subsistema	WP	Amenaza	Impacto
Minería	Operaciones mineras <i>Nacional/Puntual</i>	Minería	Eventos extremos (lluvia)	Perdida de producción, paralización de faenas
			Reducción precipitación	Perdida de producción

Sistema	Subsistema	WP	Amenaza	Impacto
Bosques y Plantaciones	Bosque Nativo <i>Nacional/Comunal</i>	BN/PF UACH	Aumento Sequias y calor	Disminución de productividad
			Aumento Olas de Calor	Aumento de incendios
	Plantaciones <i>Nacional/Comunal</i>	BN/PF UACH	Aumento Sequias y calor	Disminución de productividad
			Aumento Olas de Calor	Aumento de incendios

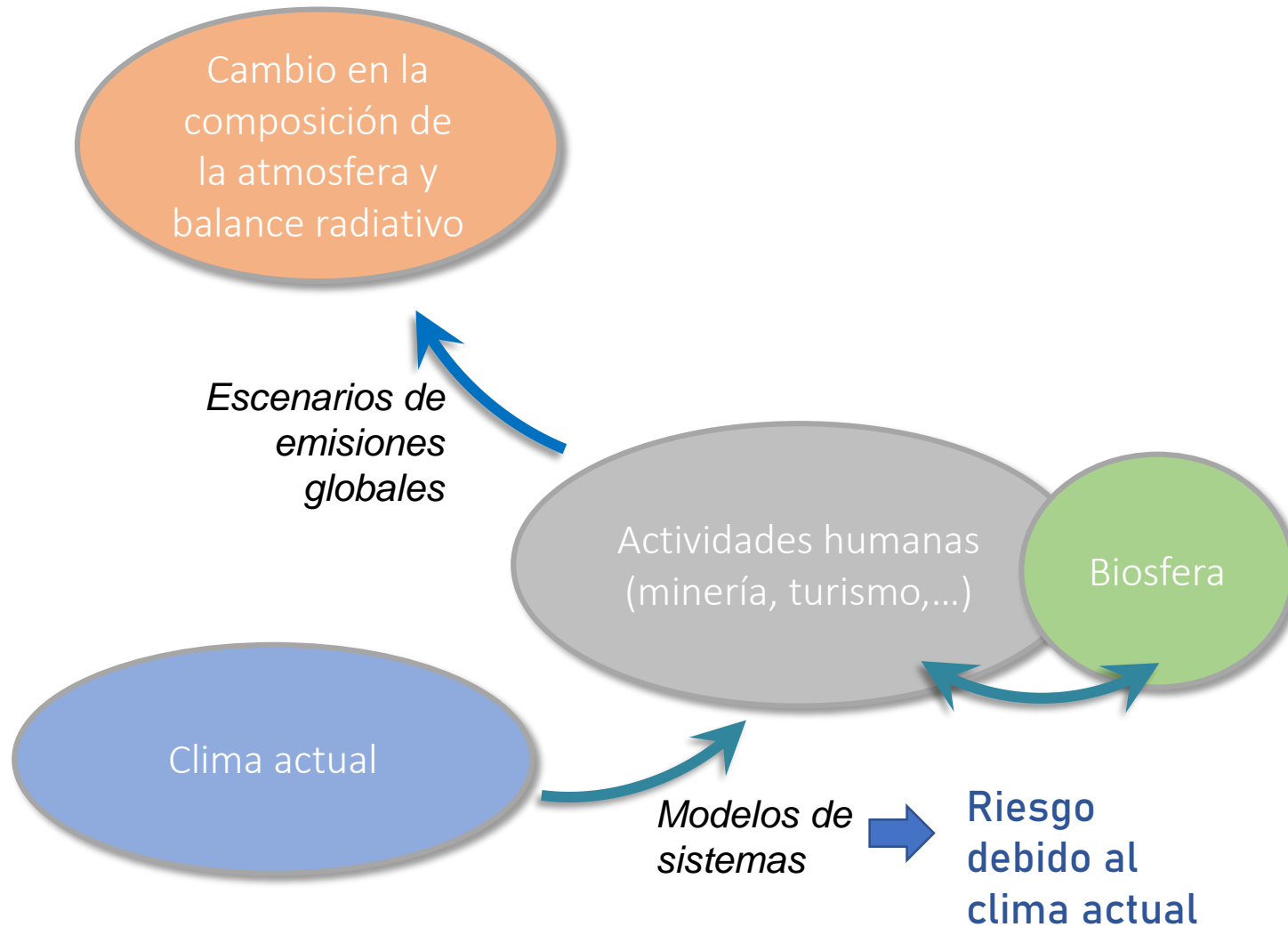
Grupo de Trabajo	Equipo
Costas	Patricio Winckler (UV), Manuel Contreras-López (UPLA), Cristián Larraguibel (PUCV)

Subsistema: Caletas Pescadores Artesanales		Fuente de datos y referencias ↓
<i>Amenaza ambiental asociada a CC</i>	Cambio de Oleaje e incremento frecuencia de eventos extremos	Datos generados para el proyecto
<i>Impacto/Riesgo</i>	Aumento del <i>Downtime</i> de la flota pesquera artesanal	MMA (2019). Volumen 7 Vulnerabilidad y Riesgo en Caletas Pesqueras, en “Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile”
<i>Unidad territorial</i>	545 caletas a lo largo de todo Chile	MMA (2019). Volumen 2: Exposición, en “Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile” (Sernapesca & Derrotero de la Costa de Chile),
<i>Exposición</i>	Tamaño de caleta como numero de pescadores asociados	MMA (2019). Volumen 2: Exposición, en “Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile”.
<i>Sensibilidad</i>	Abrigo de la Caleta (natural, obras, etc.) Pescadores & Embarcaciones (actividad de pesca, tamaño embarcación)	Índices elaborados para el proyecto
<i>Otros aspectos</i>	Amenaza solo disponible hasta región de Los Lagos	

Modelo conceptual



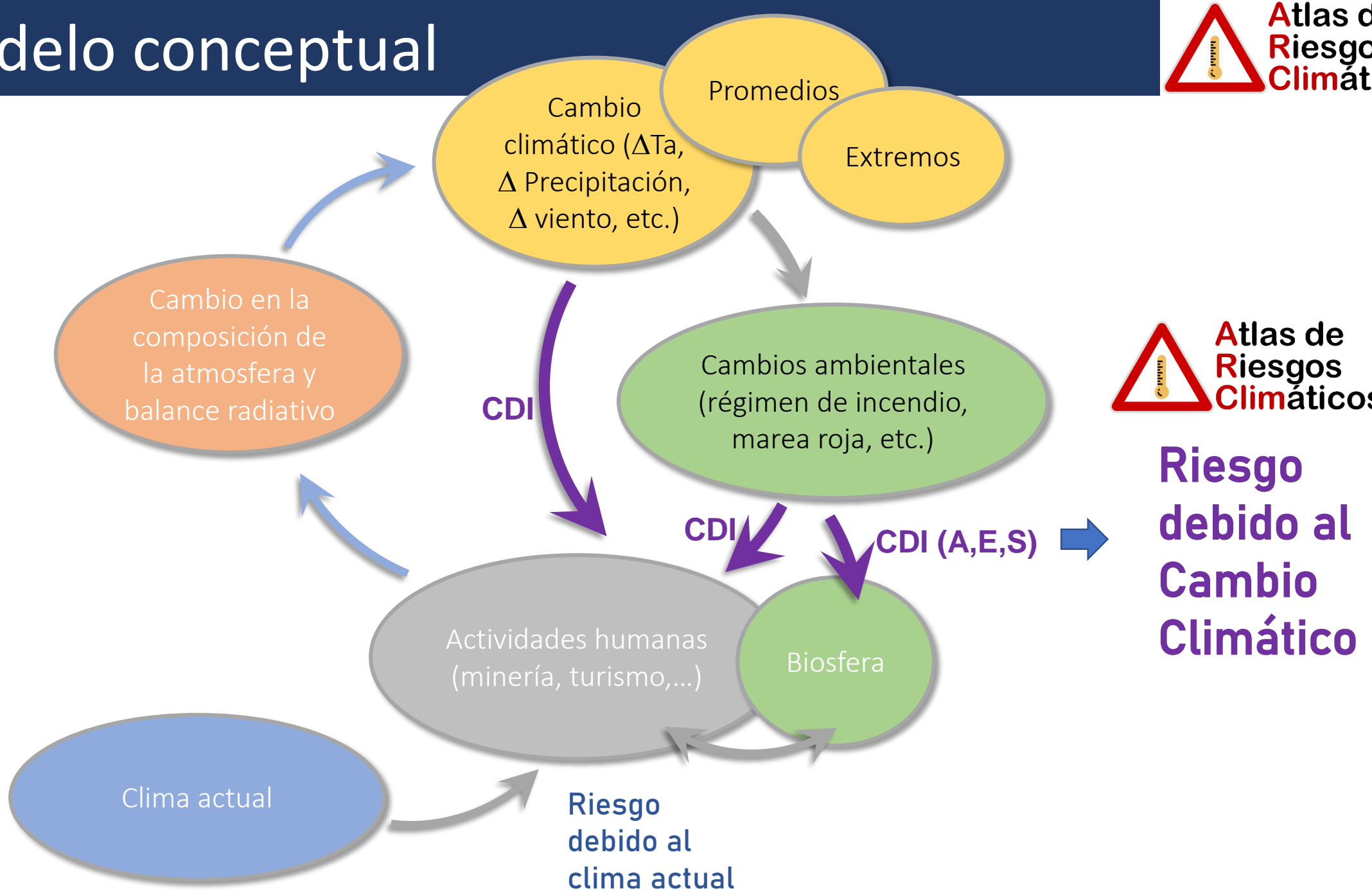
Modelo conceptual



Modelo conceptual



Modelo conceptual



¿Que periodo miráramos del futuro para evaluar el riesgo?

