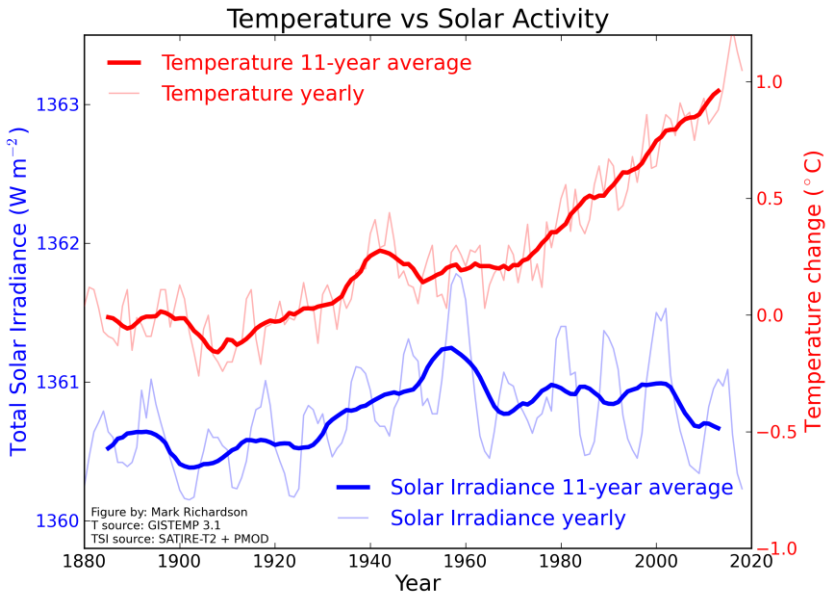
Centro UC
Cambio Global

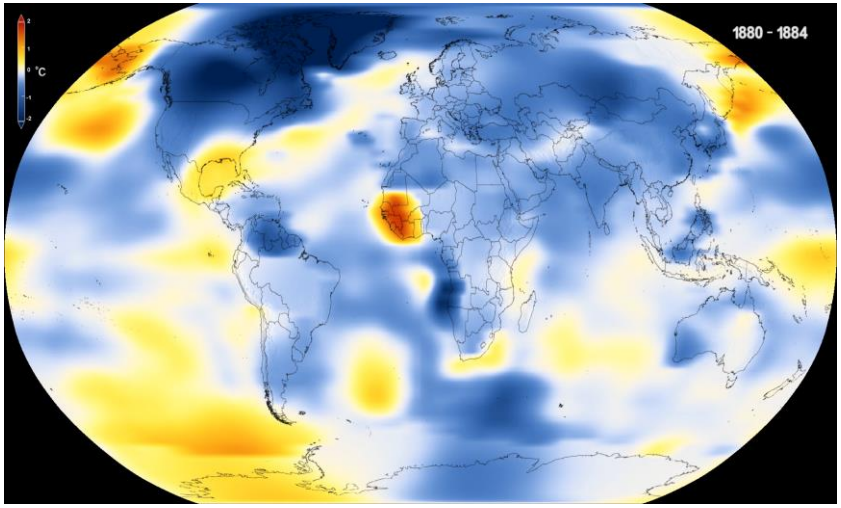
Riesgo climático y adaptación

WERNHER BREVIS[1,2] & SEBASTIÁN VICUÑA[2]

1) Departamento de Ingenieria de Minería
2) Departamento de Ingenieria Hidráulica y Ambiental



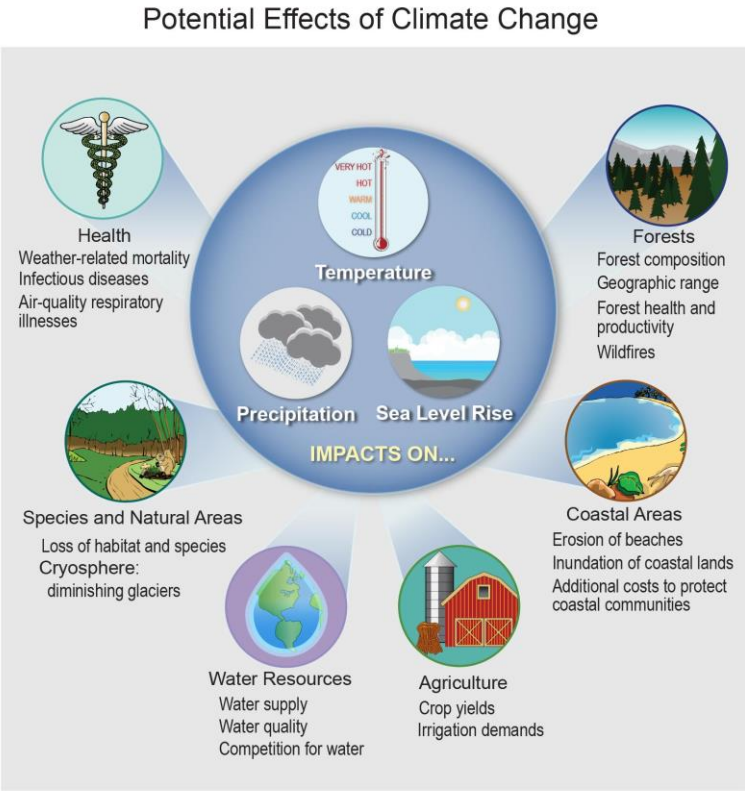
Fuente: Nasa



Fuente: Nasa. Video comienza en 1880 y termina en 2017, fluctuaciones de temperatura entre -2 y 2 ° C

Un cambio en el clima (niveles de energía en el planeta) puede

- Aumentar tasas de evaporación y transpiración
- Aumentar la capacidad de la atmósfera de contener agua
- Alterar patrones de circulación de la atmósfera
- Cambiar los patrones de precipitación en términos de frecuencia e intensidad
- Alterar acumulación y derretimiento de nieves y glaciares
- Alterar los caudales de ríos y disponibilidad de agua



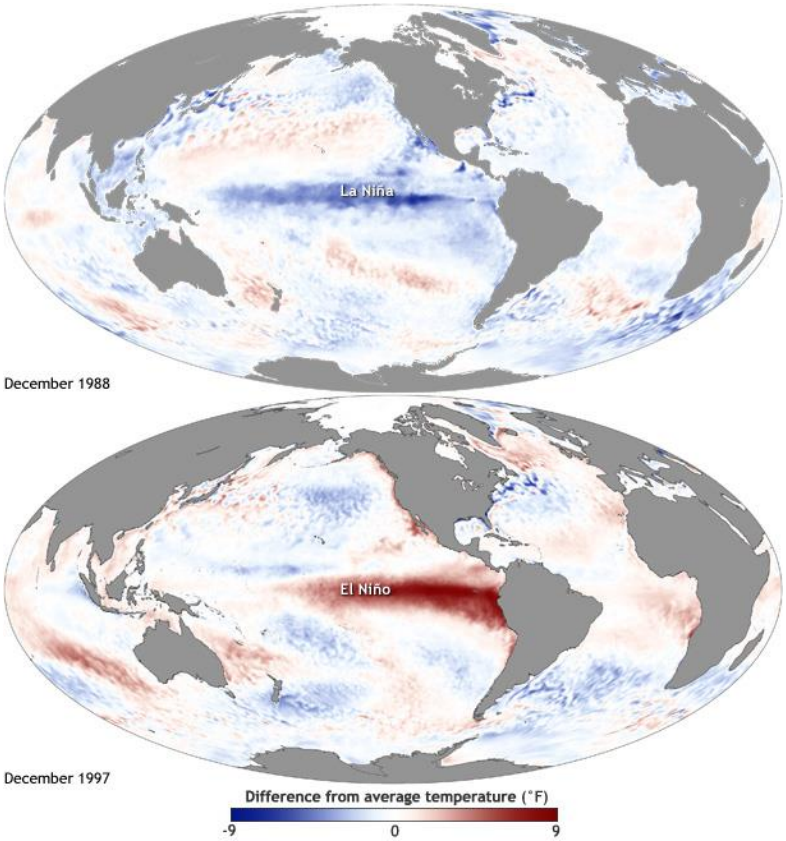
Fuente: National Climate Assessment 2014

Variabilidad y tendencias históricas de variables climáticas e hidrológicas

Fenómeno del Nino-Oscilación del Sur

- Temporales en Chile central el año 1997 daños a infraestructura vial, agricultura e infraestructura urbana eléctrica

Variaciones históricas de temperaturas, precipitaciones y caudales



Maps by NOAA Climate.gov, based on data provided by NOAA View

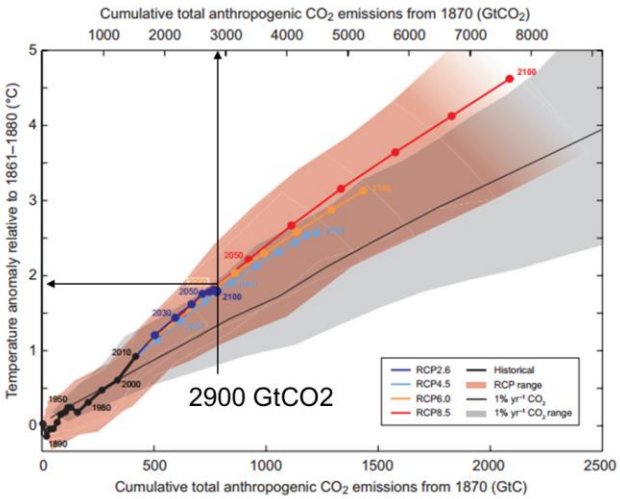
Escenarios de emisión de gases de efecto Invernaderos (GEI)

Presupuesto Global de Carbono (PGC) de los 2°C

La fuentes antropogénicas máximas de CO2 desde el inicio de la revolución industrial no deben superar las 2900 GtCO2

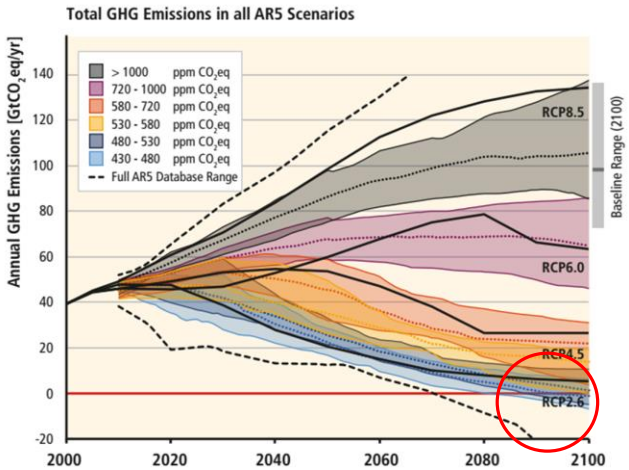
No existe probabilidad de ocurrencia significativa para ninguno de los escenarios

Se deben analizar mas de un escenario de concentraciones de CO2 para determinar patrones probables



RCP2.6 en año 2100 alcanza 2900 GtCo2.

*



Representative concentration Pathway (RCP), usados para modelación climática e investigación

**Fuente:PCC, 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

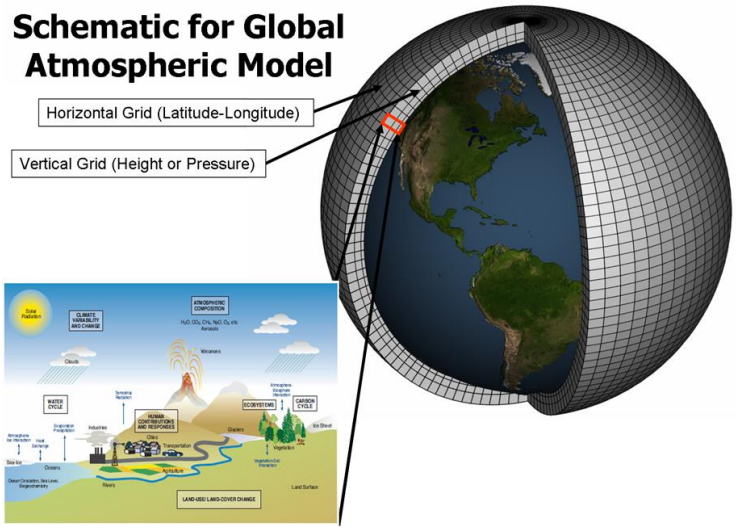
Uso de varios modelos de circulación global (Global Circulation Model, GCM)

Estimaciones cuantitativas a escala continental basados en principios físicos

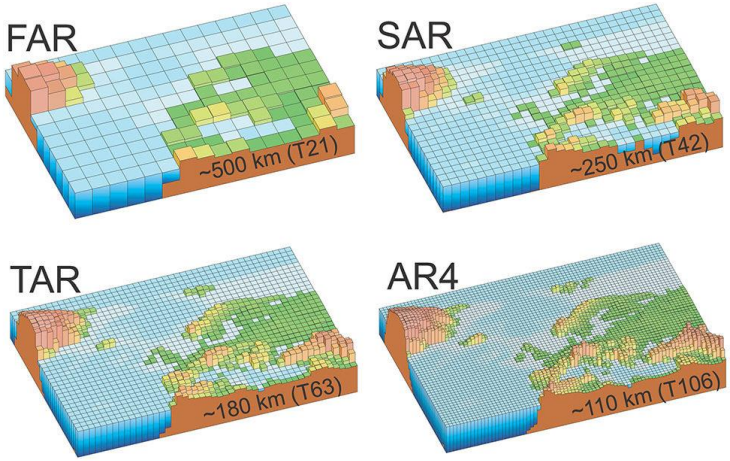
Confiables debido a que han sido capaces de reproducir comportamiento de clima actual y cambios pasados

Mayor confiabilidad en variables como temperatura en vez de precipitaciones

Todos los modelos existentes apuntan a un calentamiento importante, sin embargo no son consistentes entre ellos en términos de las proyecciones en niveles de precipitación



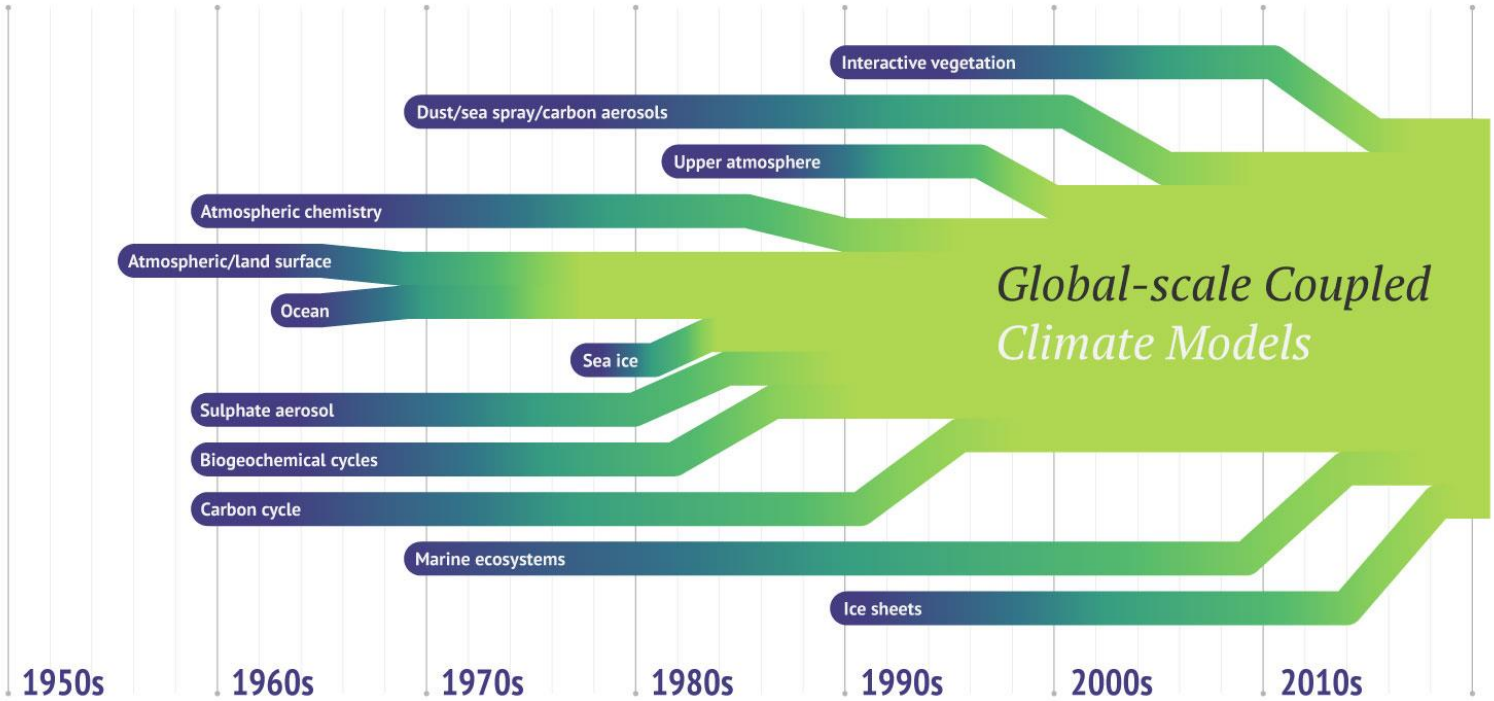
Fuente: NOAA GFDL



Fuente: : IPCC AR4, Fig 1.2

Climate models

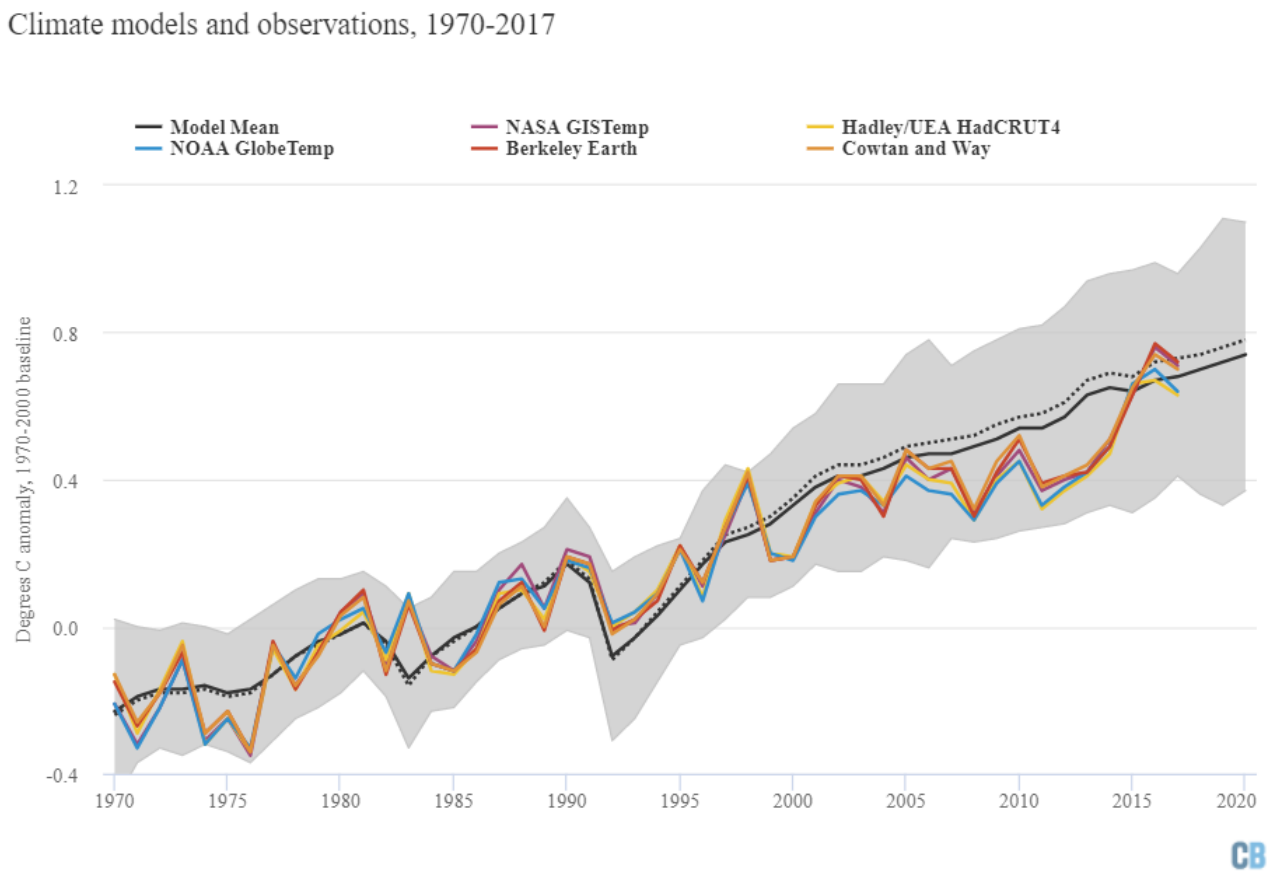
For decades scientists have been using mathematical models to help us learn more about the Earth's climate. Known as climate models, they are driven by the fundamental physics of the atmosphere and oceans, and the cycling of chemicals between living things and their environment. Over time they have increased in complexity, as separate components have merged to form coupled systems.



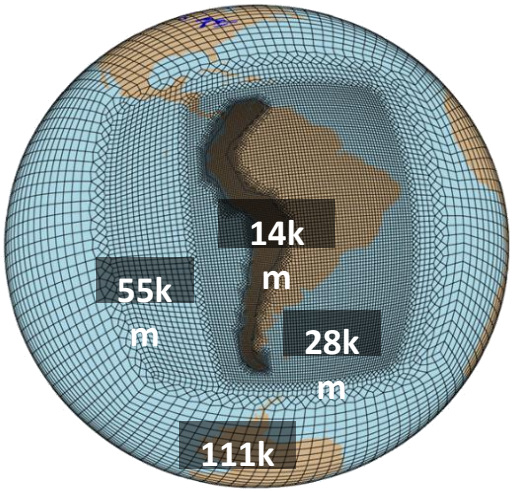
Note: There were some very simplified models before the dates mentioned.

CarbonBrief
CLEAR ON CLIMATE

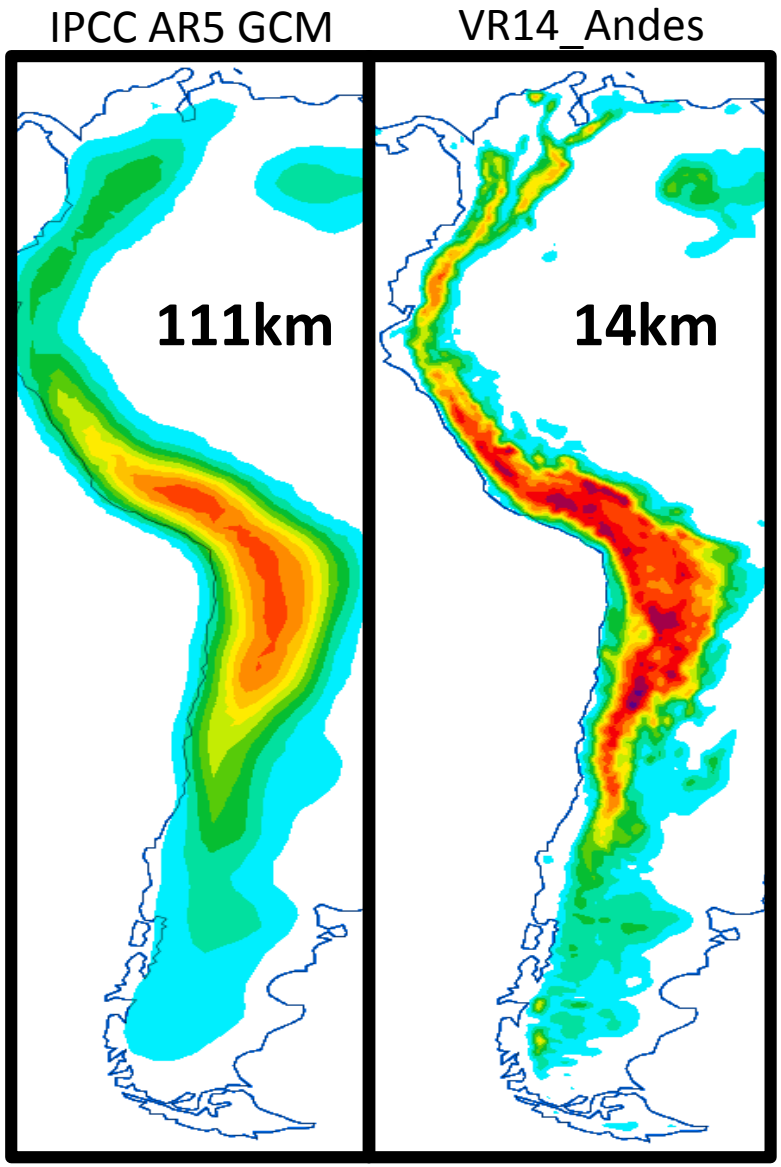
CMIP: Coupled (atmosphere-ocean) Model Intercomparison Project



RCP4.5 CMIP5 blended land/ocean model average (in black), two-sigma model range (in grey), and observational temperature records from NASA, NOAA, HadCRUT, Cowtan and Way, and Berkeley Earth from 1970 to 2020. Dashed black line shows original (unblended) CMIP5 multimodel mean. Preliminary value for 2017 is based on temperature anomalies through the end of August. Chart by Carbon Brief using Highcharts.



CORDEX-like grid constructed with SQuadGEN (Ullrich - https://climate.ucdavis.edu/squadgen.php)



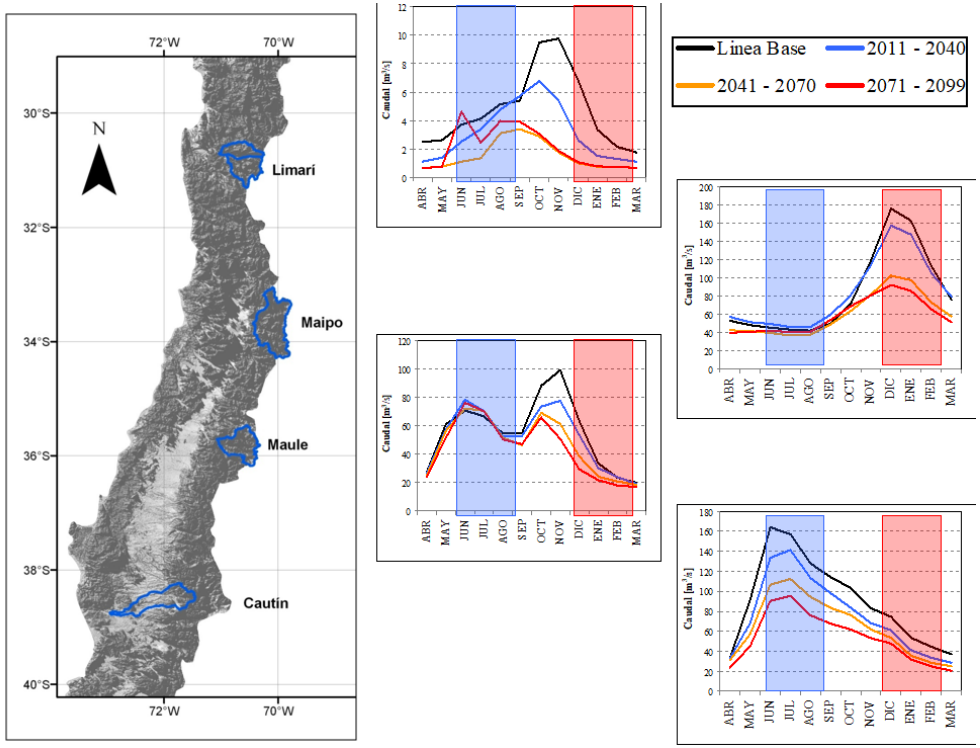
Análisis a mayor resolución

Para mejorar el nivel de información a nivel de cuenca se elabora un **modelo hidrológico y de recursos hídricos** que usa como condiciones de borde la información proveniente del modelo de cambio climático.

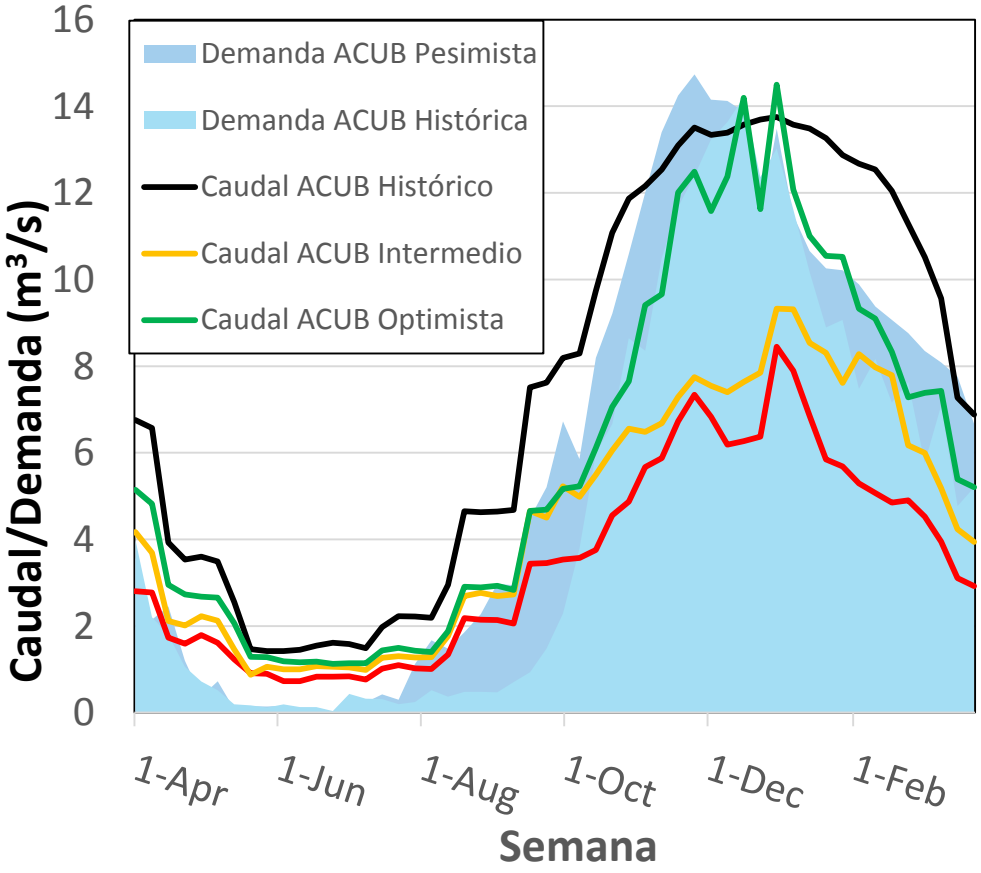
Condiciones de borde: Precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

WEAP (Water Evaluation and Planning)

Calibrado con información histórica para la cuenca en análisis.

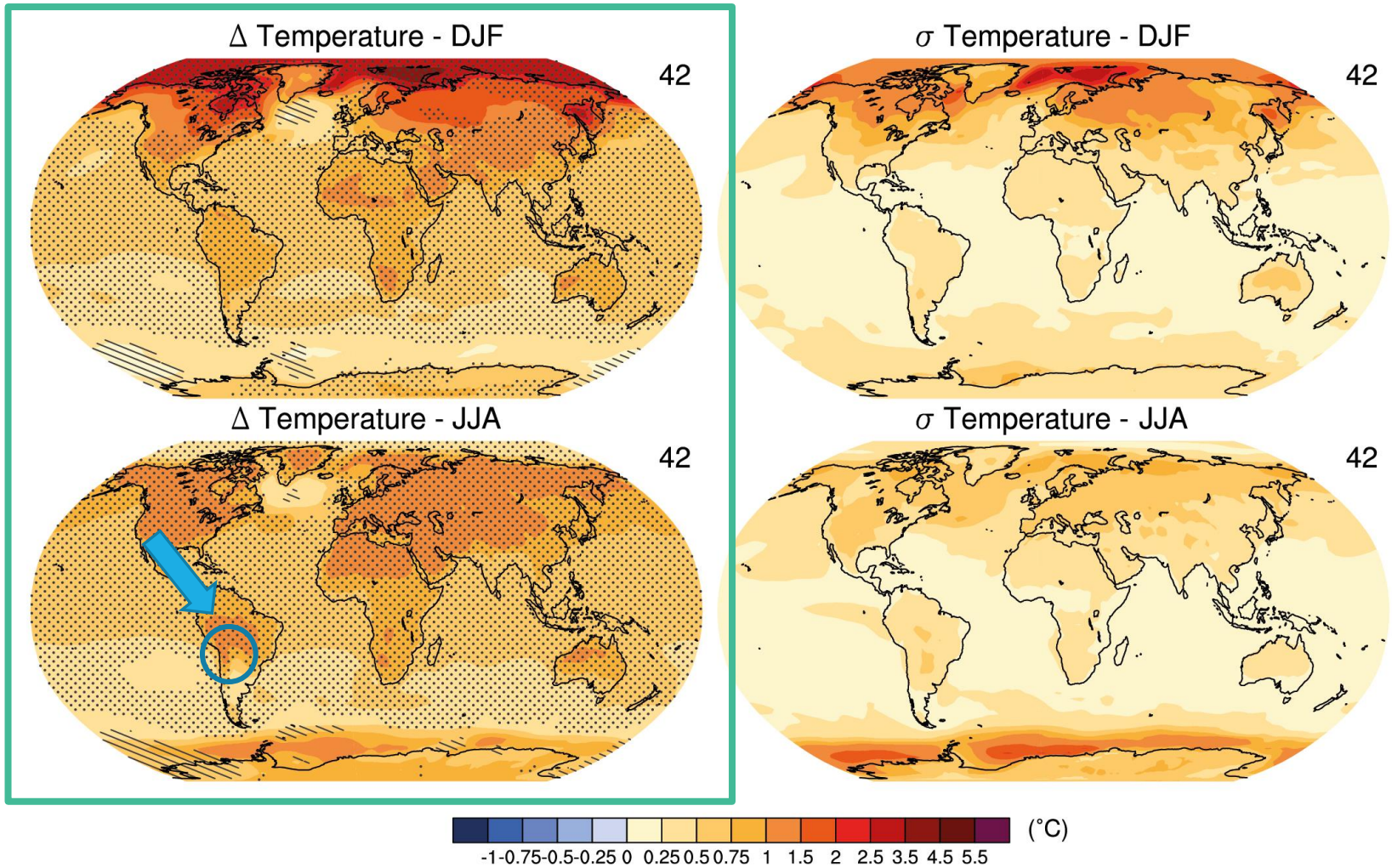


Demanda y oferta de agua para Asociación Canalistas de Buin periodo 2030-2050



Los escenarios climáticos futuros muestran un aumento en la demanda de agua y una disminución en la oferta de agua en periodos críticos

Variación de temperatura usando CMIP5 en el periodo (2016-2035) relativo al periodo (1986-2005) usando RCP4.5



Fuente AR5 / IPCC Fig 11.10

Resultados generales de la simulación de precipitaciones en Chile

Zona	Robustez de la señal		
	Temprano	Intermedio	Tardío
Zona 1: Altiplano (18-23S)	No existe una señal clara de cambio de precipitación		
	Disminución: 0/-10%		Aumento: +5/+10%
Zona 2: Norte grande (23-27S)	No existe una señal clara de cambio de precipitación		
	Disminución: -5/-10%		
Zona 3: Norte chico (28-32S)	Leve señal de disminución de precipitaciones		
	Disminución: -5%	Disminución: -10/-20%	
Zona 4: Chile central (32-38S)	Señal robusta de disminución de precipitaciones		
	Disminución: -5/-10%	Disminución: -10/-20%	Disminución: -20/-30%
Zona 5: Zona sur (38-42S)	Señal robusta de disminución de precipitaciones		
	Disminución: -5/-10%	Disminución: -10/-20%	Disminución: -20/-30%
Zona 6: Patagonia (44-49S)	No existe una señal clara de cambio de precipitación		
		Neutro: -5/5%	
Zona 7: Magallanes (50-55S)	Señal robusta de disminución de precipitaciones		
	Neutro: -5/5%	Aumento: +5/+10%	

Los resultados del RCP4.5 del IPCC-AR5, señalan también confiabilidad en la reducción de precipitaciones en la zona centro-sur, pero no en el norte.

CEPAL, N. (2012). La economía del cambio climático en Chile.

Impacto del acceso a recurso hídrico para minas

Mina	Cuenca	Pp. *(mm/año)*	T media *(°C)*	Q 1960-1990 *(mm/año)*	Q 2011-2040 *(mm/año)*	Delta Pp. *(porcentajes)*	Delta T *(°C)*	Delta Q *(porcentajes)*
Escondida	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacífico	91,7	10,2	0,0	0,0	-13	0,7	-
Pelambres	Río Choapa	326	14,4	54,2	43,6	-7	0,4	-19,5
El Teniente	Río Rapel (Río Cachapoal)	1 595	14,0	1 115	1 068,5	-5,5	0,4	-4,2
Andina	Río Aconcagua (Río Colorado)	720	14,2	373	356,0	-4,9	1,0	-4,6
Chuquicamata	Río Loa (San Pedro de Chonchi)	141	8,5	8,5	4,8	-12,9	0,9	-44,0
Collahuasi	Altiplánicas (Salar de Coposa)	169	4,0	0,0	0,0	-11,2	0,9	-
Candelaria	Río Copiapó (Quebrada Paipote)	43	16,2	0,3	0,0	-12,1	0,5	-100,0
El Algarrobo	Río Huasco	175	14,5	5,5	0,7	-15,5	0,9	-88,2
Maricunga	Río Copiapó (Salar de Maricunga)	153	2,5	0,0	0,0	-7,8	0,5	-
El Peñón	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacífico	91,7	10,2	0,0	0,0	-13	0,7	-

Fuente: Elaboración propia.
Notas: Pp. = Precipitación anual promedio; T = Temperatura promedio; Q = Disponibilidad hidrológica en la cuenca donde la mina esté ubicada (no necesariamente la disponibilidad real de la mina); Delta Pp. = Cambios porcentuales en precipitación; Delta Q = Cambios porcentuales en caudal; Delta T = Cambio en grados de temperatura. Los cambios están asociados al escenario A2 en el período temprano.

CEPAL, N. (2012). La economía del cambio climático en Chile.

¿Qué se concluye de todo esto?

- Promover el **desarrollo de modelos a nivel de cuenca**, sobre todo hidrológicos, para analizar el potencial impacto de escenarios climáticos de riesgo para faenas.

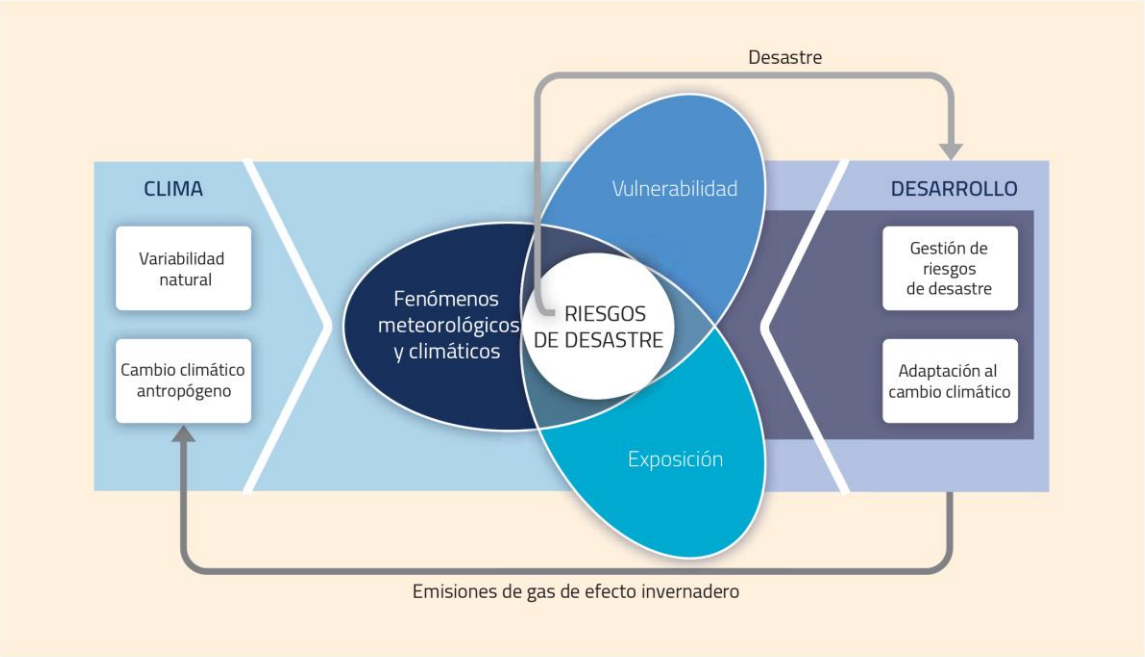
  - También para analizar potencial **conflicto con personas o con otras industrias** por presión, por ejemplo, en disponibilidad de recurso hídrico (a corto plazo y para los próximos 50-100 años).

- Una vez identificadas las amenazas, identificar **niveles de vulnerabilidad particulares e implementar medidas** de gestión, operación o cambios en la infraestructura que permita minimizar el riesgo.

- **Comunicar escenarios**, como por ejemplo la presión futura por recursos claves, agua y energía, a comunidades u otras industrias e informar planes de mitigación a tiempo que involucren su participación.

- Debido a ley de mineral disponibles es muy posible que a futuro exista una gran **competencia por recurso hídrico** y energía con otras actividades.

Adaptación al cambio climático



Riesgos (oportunidades) físicos:

Agudos ("Shocks"): Ej: Aluviones, Olas de Calor

Crónicos: Ej: Disminución en precipitaciones y disponibilidad de recursos, aumento necesidad de refrigeración por alza en temperatura.

Identificación de vulnerabilidad (Ford and Smit, 2004)

Vulnerabilidades actuales

1) Identificar las condiciones o riesgos climáticos que son relevantes para las operaciones y como esas operaciones son afectadas (sensibilidades de exposición)
2) Identificar y evaluar estrategias y practicas de gestión para enfrentar y adaptar las sensibilidades de exposición

Vulnerabilidades futuras

1) Estimar sensibilidades de exposición futuras basados en cambios esperados de las sensibilidades de exposición actuales y de otras que puedan aparecer
2) Evaluar la capacidad de las estrategias actuales y practicas de manejo para enfrentar y adaptar las sensibilidades de exposición esperadas.

Ford JD, Smit B (2004) A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian Arctic to risks associated with climate change. Arctic 57(4):389–400

Algunas vulnerabilidades y sus razones

- **Evaluar probabilidad de ocurrencia de desastres naturales de gran envergadura** (e.g. aluviones), información necesaria incluso en etapas tempranas de diseño de proyectos (riesgo del negocio)

- Eventos extremos pueden causar daño a la infraestructura instalada (tranques, caminos, estabilidad de taludes, sistemas de drenaje etc). Rediseño y adaptación de infraestructura: **la mayor parte de la infraestructura existente fue diseñada asumiendo que el clima no cambia**.

- **Disponibilidad de recurso hídrico en forma continua** para operación de faenas (Importante para evaluar factibilidad económica y ambiental de otros tipos de suministros, e.g. control de evaporación, mejorar recirculación de agua, desalinización)

- Problemas ambientales relacionados con el **transporte de polvo debido a fuertes vientos** (desarrollos tecnológicos y control en línea, probable aumento de costos de operación o multas)

- **"La política del cambio climático"** y la percepción publica del compromiso industrial (Pearce, Tristan, D. Ford, James Prno, David Duerden, Jason Pittman, Frank Beaumier, Jeremy Berrang-Ford, and Maude Smit. "Climate Change and Mining in Canada." Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 16.3 (2011): 347-68.)

- Consideración de cambio climático post fase operacional:
  - Estabilidad física de tranques de relaves. Que pasa con los tranques abandonados (**un accidente futuro puede afectar la imagen de la industria en su conjunto**)?

- **Adoptar tecnologías** que permitan una mayor resiliencia ante eventos extremos u otros escenarios (e.g. desarrollo de tecnología de relaves para mejorar estabilidad física e impacto a largo plazo)

- Las empresas deben estar **preparadas para cambios futuros en la legislación** de emisiones ya que pueden sufrir repercusiones regulatorias y económicas de significancia (Pearce, Tristan, D. Ford, James Prno, David Duerden, Jason Pittman, Frank Beaumier, Jeremy Berrang-Ford, and Maude Smit. "Climate Change and Mining in Canada." Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 16.3 (2011): 347-68.)