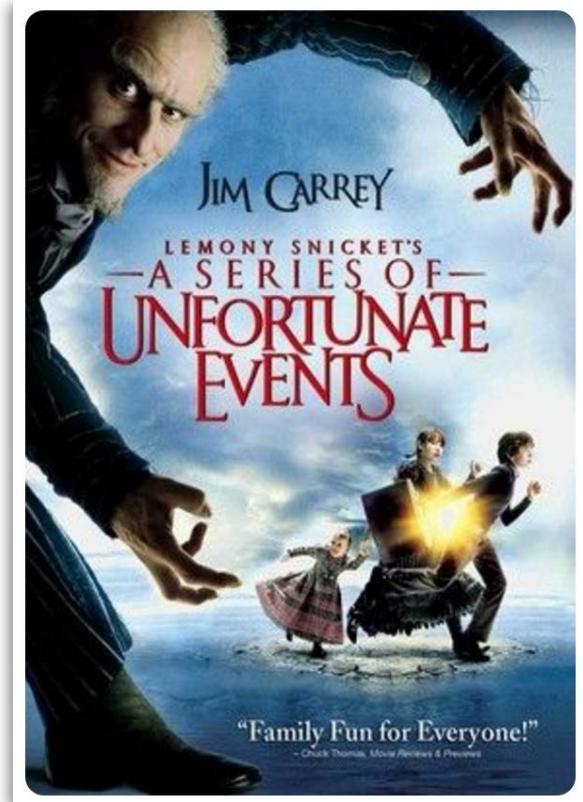


Una serie de eventos desafortunados

El rol del cambio climático en eventos recientes de alto impacto

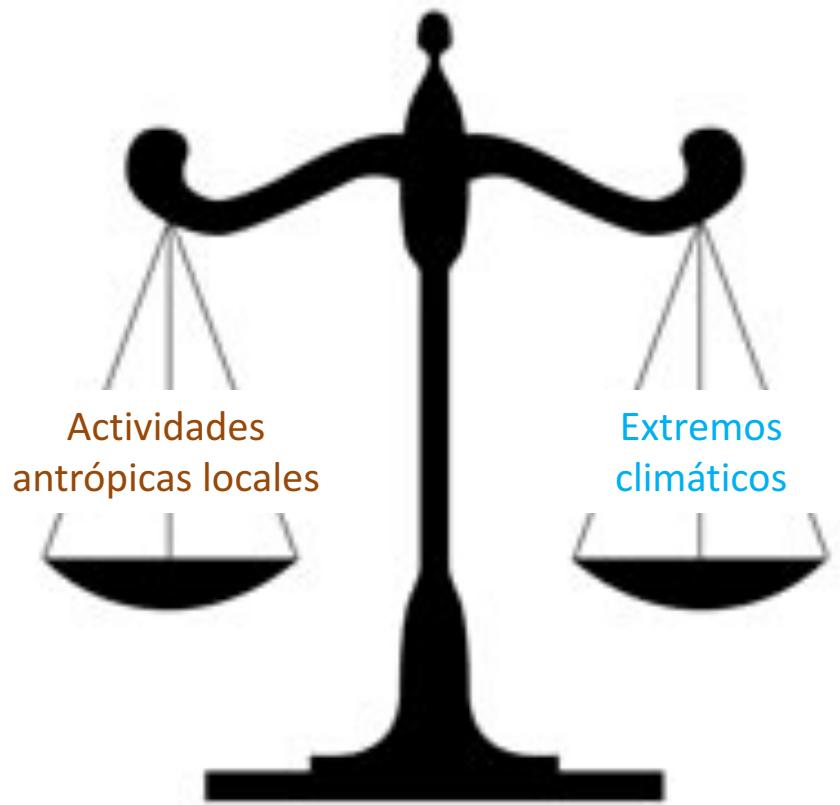
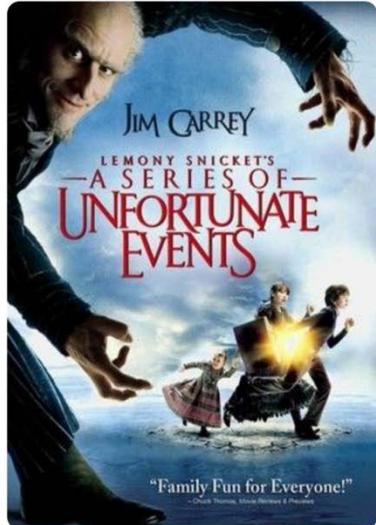


René D. Garreaud^{1,2}, Juan Pablo Boisier^{1,2} Roberto Rondanelli^{1,2}, Claudia Villarroel^{1,3}

1. Centro del Clima y la Resiliencia, CR2
2. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile
3. Dirección Meteorológica de Chile

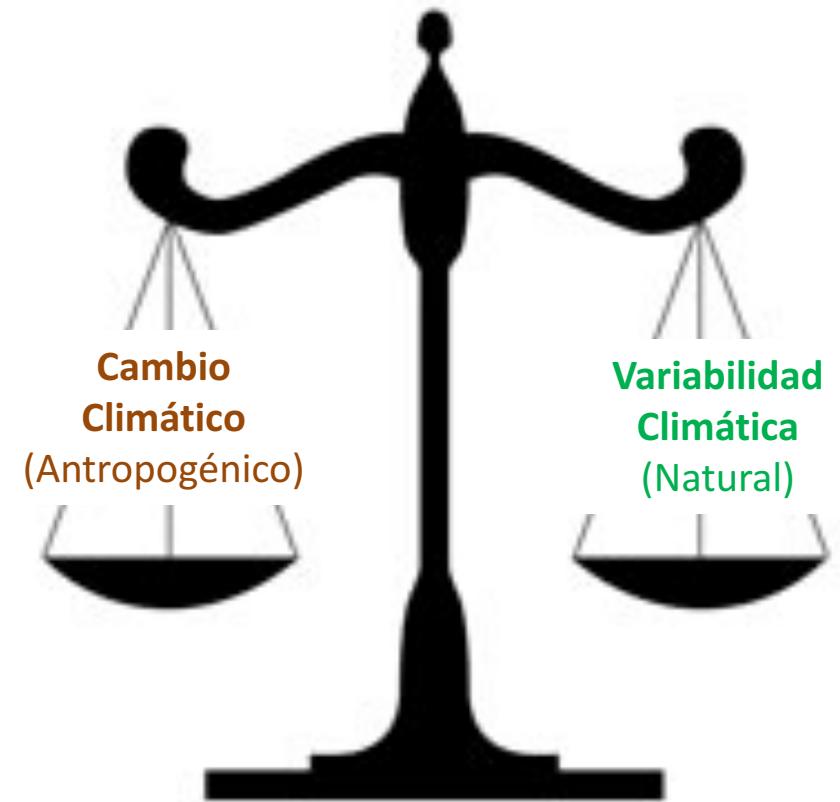
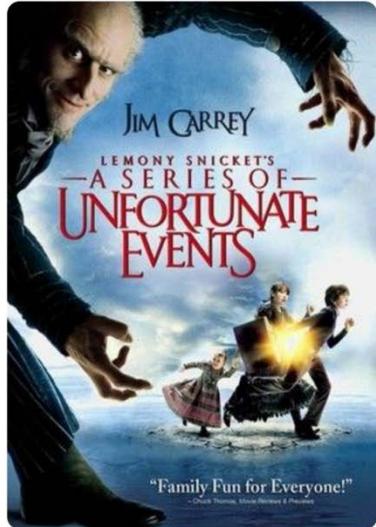
Eventos “ambientales” extremos

→ Impactos económicos y tensiones sociales



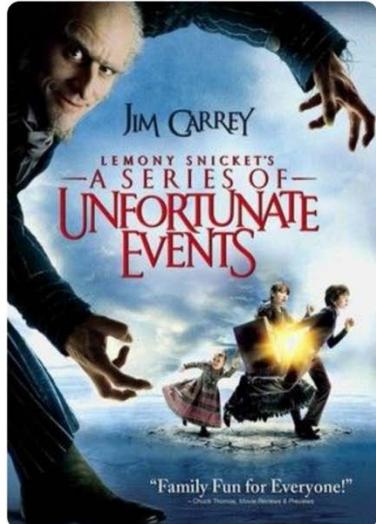
La balanza anterior es un gran desafío multidisciplinario...
...pero los climatólogos tenemos nuestra propia balanza

Extremos climáticos

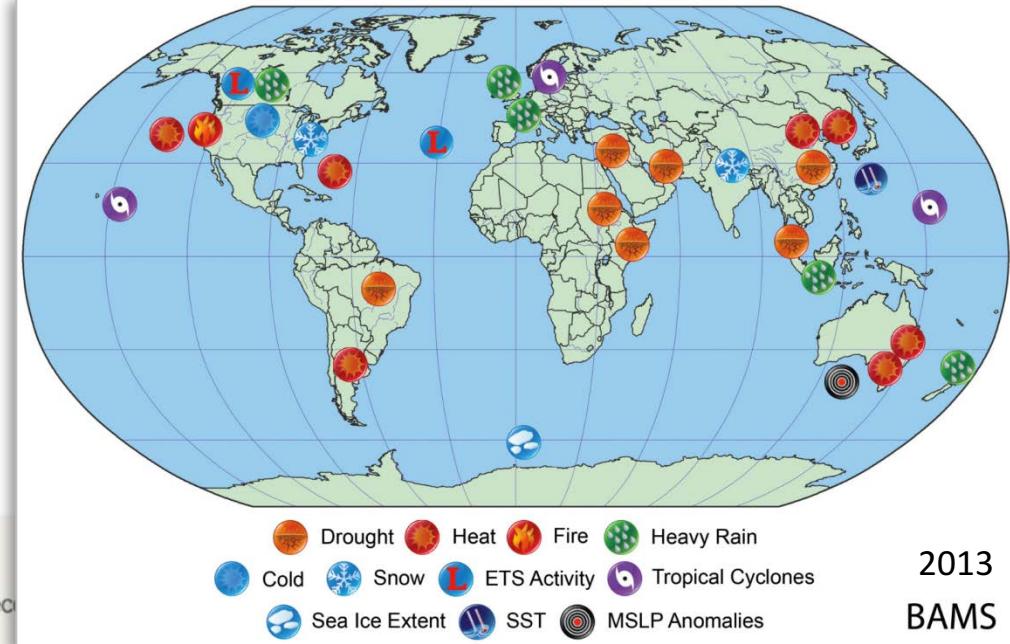


La balanza anterior es un gran desafío multidisciplinario...
...pero los climatólogos tenemos nuestra propia balanza

Extremos climáticos

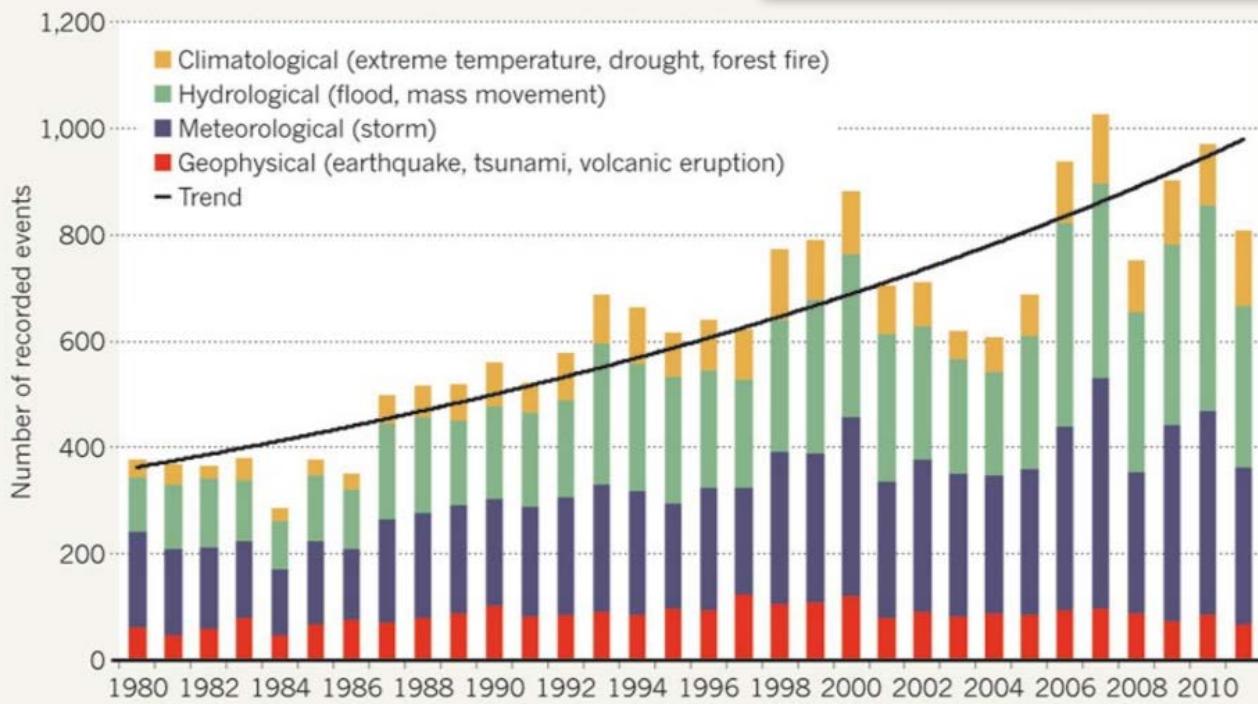


Perspectiva Global



CATASTROPHE COUNT

An increase in severe storms is helping to drive up the number of recorded events, conclusively attributed to climate change.



El ardiente verano 2017

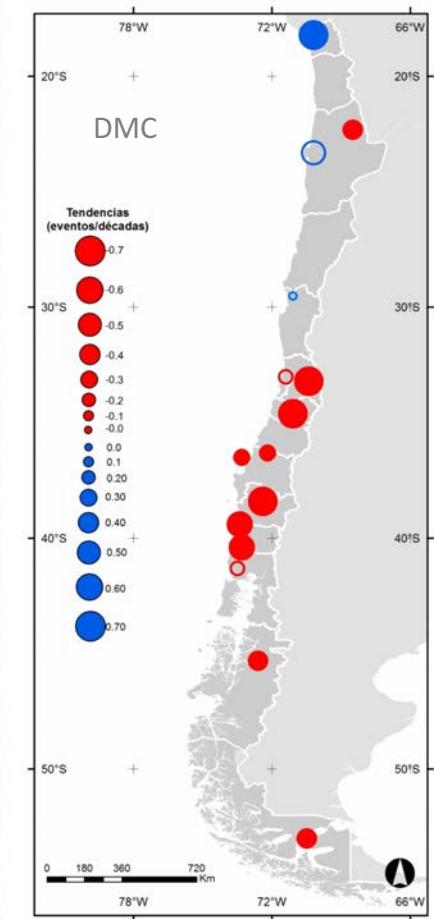
Anomalías Tx Enero 2017



Imagen MODIS Visible 27-01-2017



Tendencias olas de calor



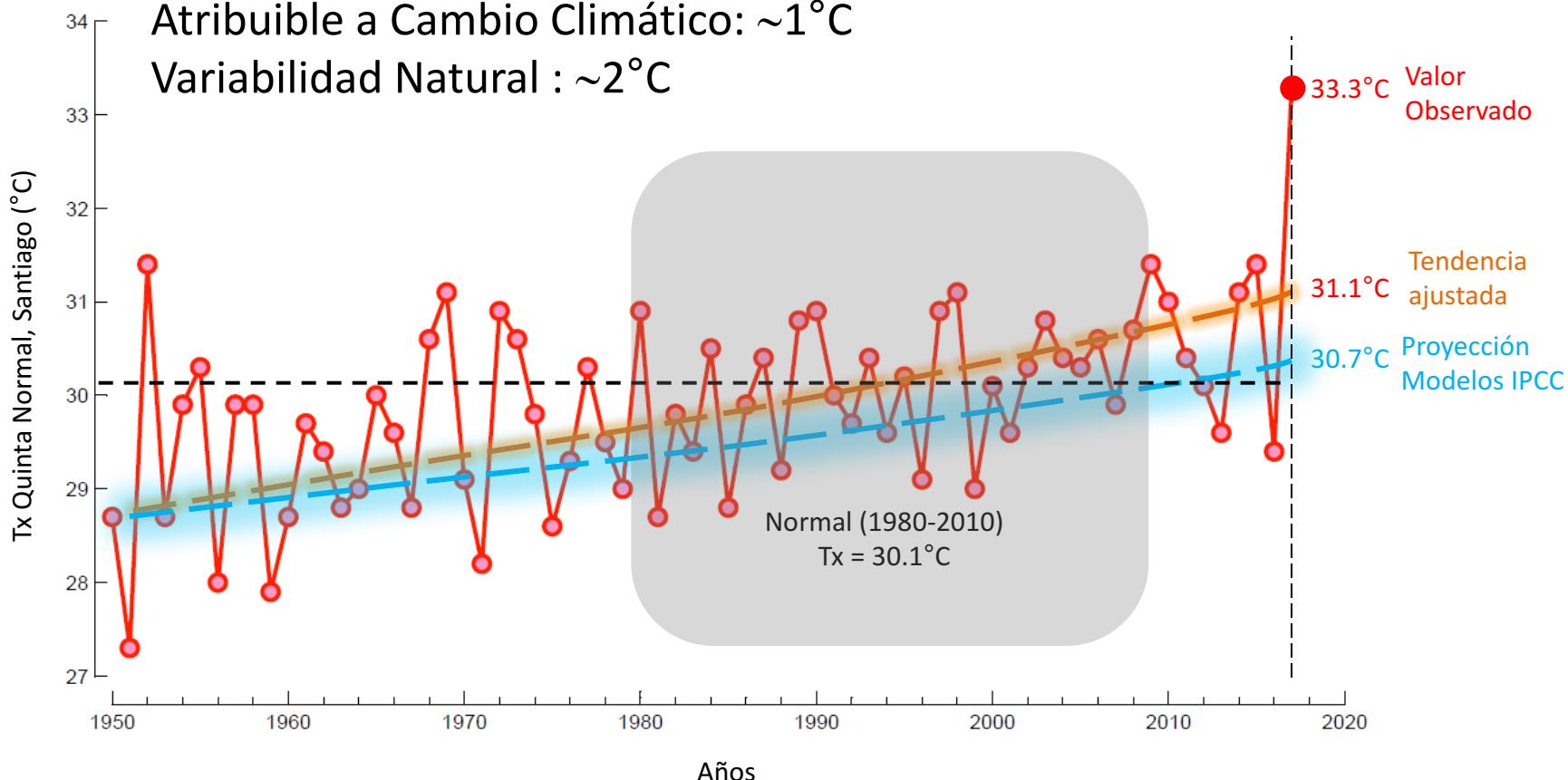
El ardiente verano 2017

TMax Stgo. Enero 2017: 33.1°C

Aumento por encima de la normal: $+3^{\circ}\text{C}$

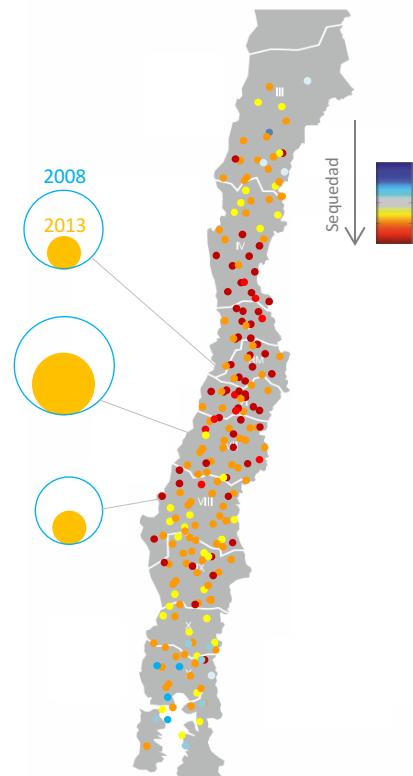
Atribuible a Cambio Climático: $\sim 1^{\circ}\text{C}$

Variabilidad Natural: $\sim 2^{\circ}\text{C}$



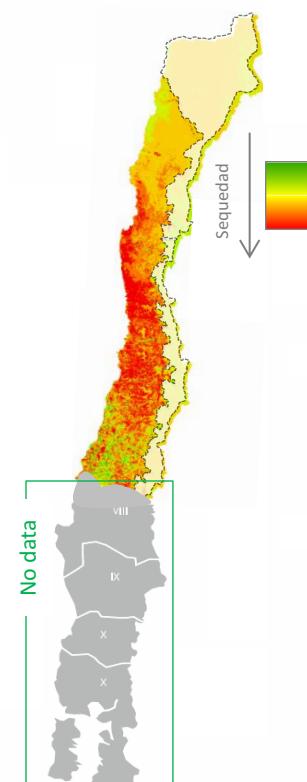
La Megasequía 2010-2015

Transporte de sedimentos en invierno

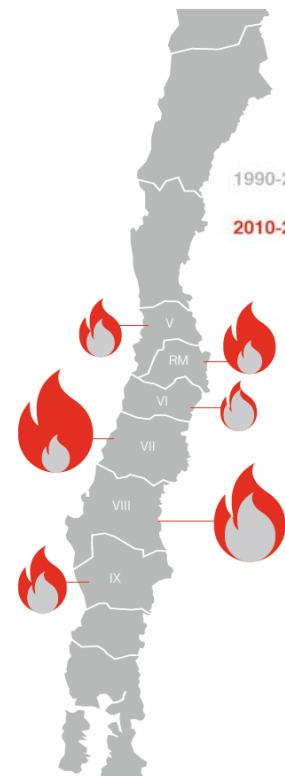


Déficit Pluviométrico (2010-2014)

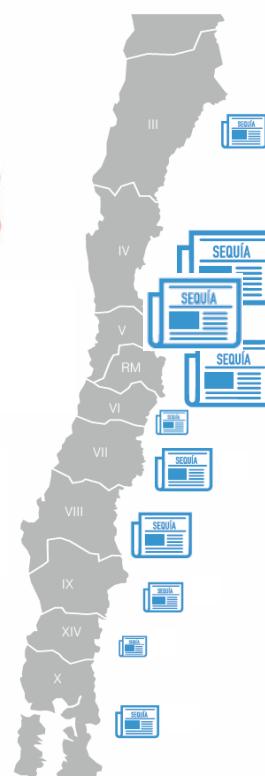
Deterioro vegetación Agosto 2010-2015



Incendios forestales de magnitud



Apariciones en prensa escrita (2014)

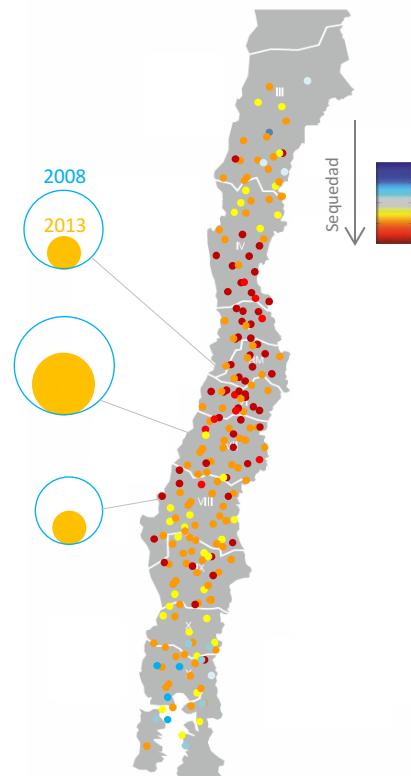


Gastos en Camiones Aljibes (Mill\$)

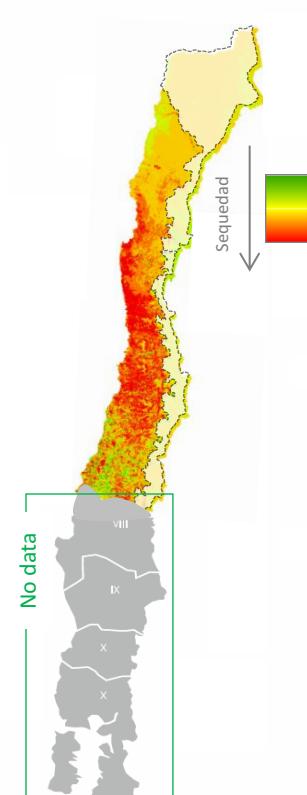


La Megasequía 2010-2015 ~~2017~~

Transporte de sedimentos en invierno



Déficit Pluviométrico (2010-2014)



Deterioro vegetación Agosto 2010-2015



Incendios forestales de magnitud



Apariciones en prensa escrita (2014)

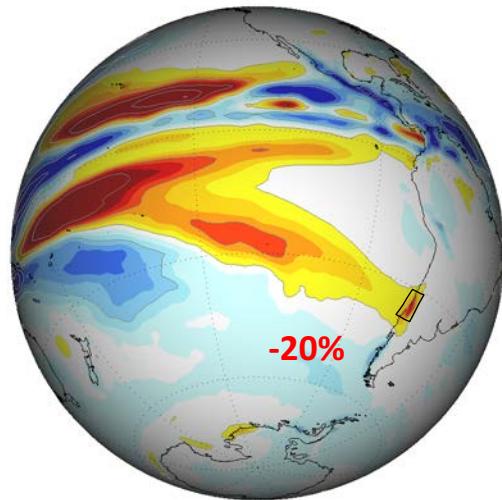


Gastos en Camiones Aljibes (Mill\$)

La Megasequía 2010-2015

Anomalías de precipitación, MJJAS, 2010-2015
simuladas por diversos modelos. Deficit observado $\sim 30\%$

AMIP-ORF

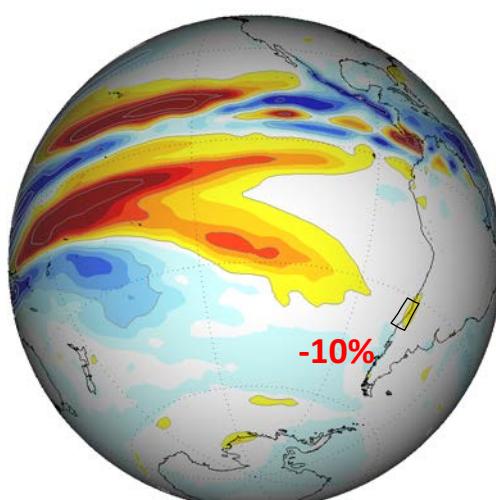


TSM prescrita
GEI actuales

Promedio muchas corridas revela
forzamiento del océano en clima

NAT+ANTROP

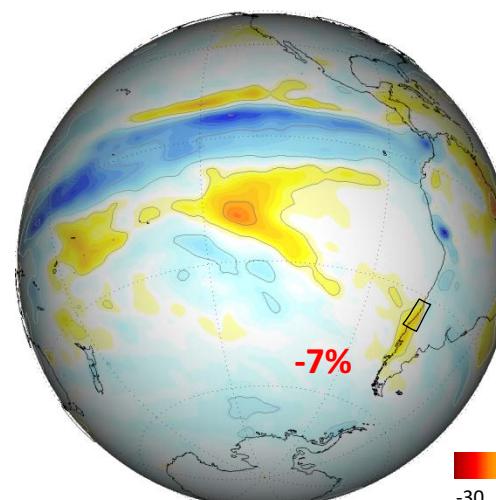
AMIP-NHF



TSM prescrita
GEI históricos (1800)
Promedio muchas corridas del
mismo modelo (CAM5.1)

NAT' (2/3)

CMIP5/RCP8.5

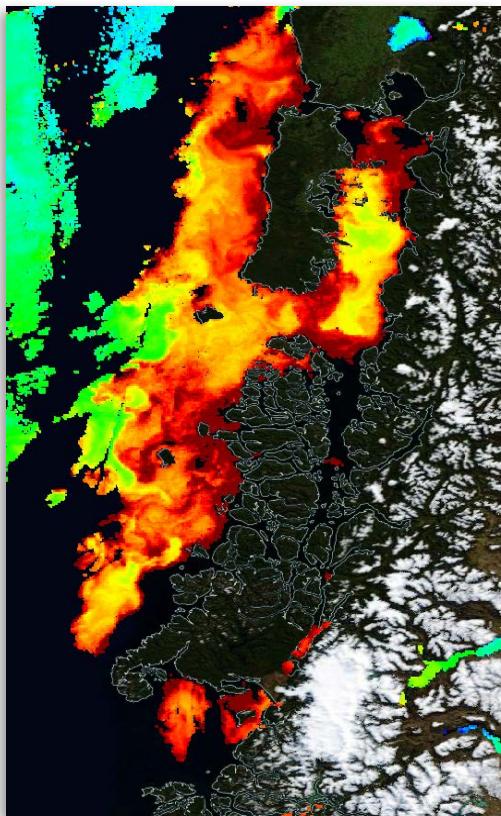


TSM calculada
GEI actuales
Promedio muchos modelos
revela forzamiento radiativo

ANTROP (1/3)

-30 0 +30 %

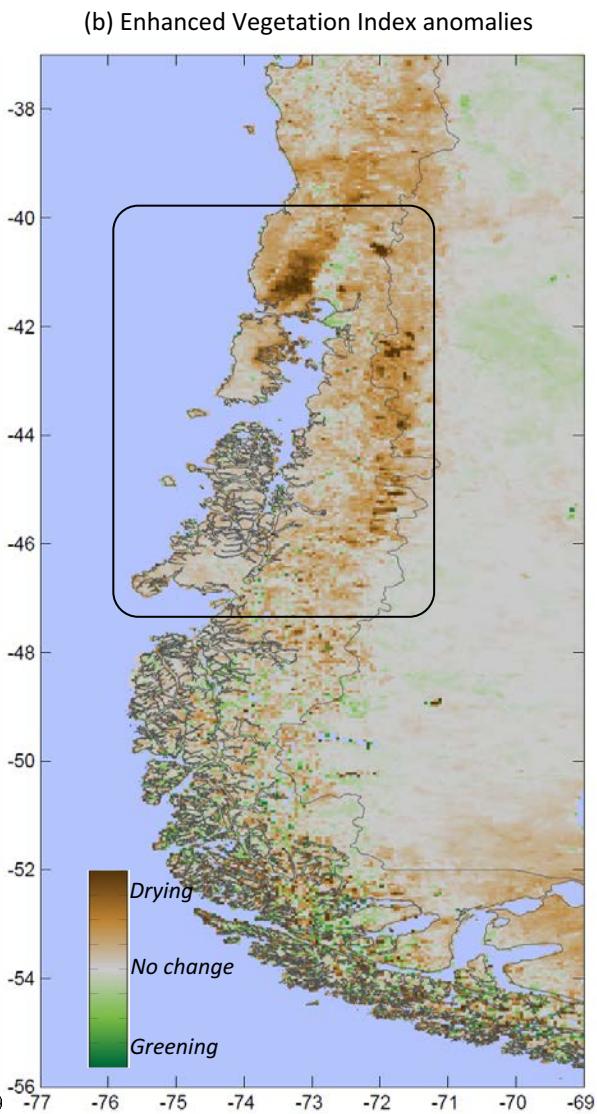
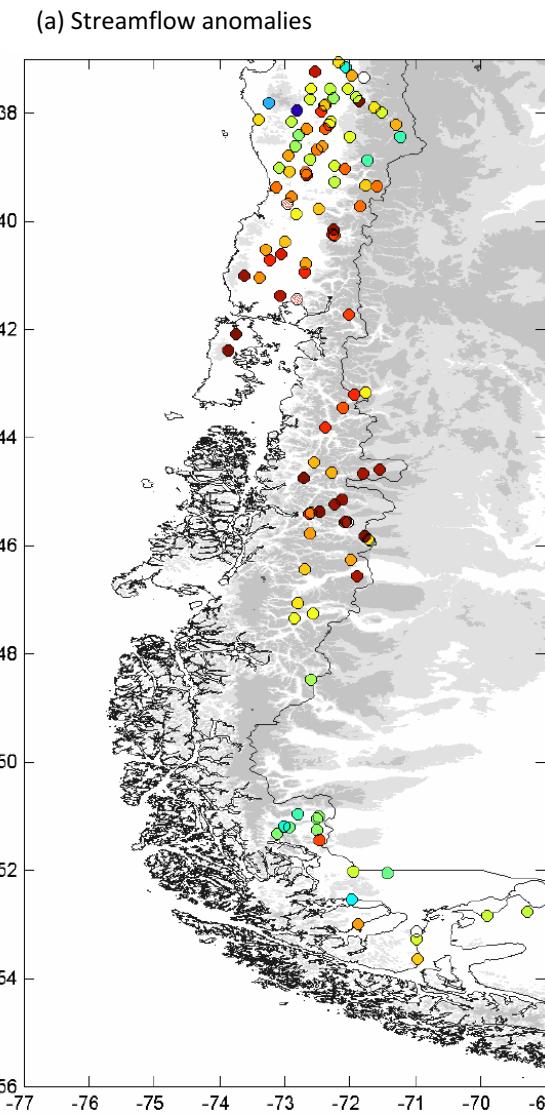
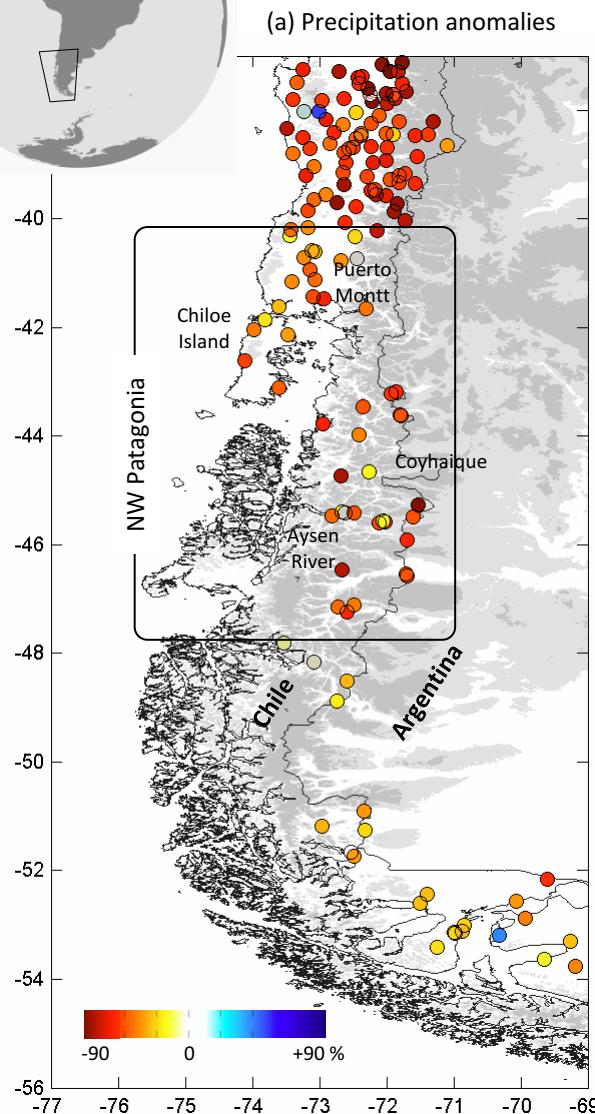
El terrible 2016 (JFM)



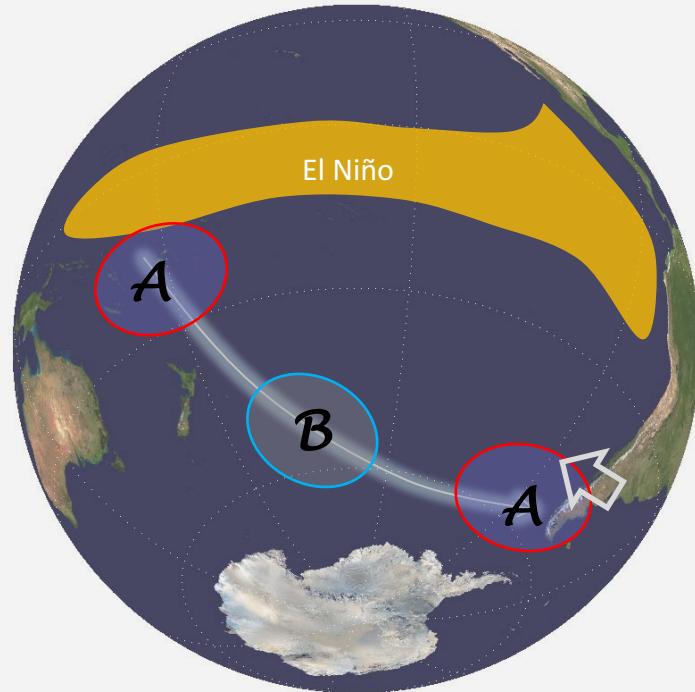
Clorofila, 03 Marzo 2016. MODIS



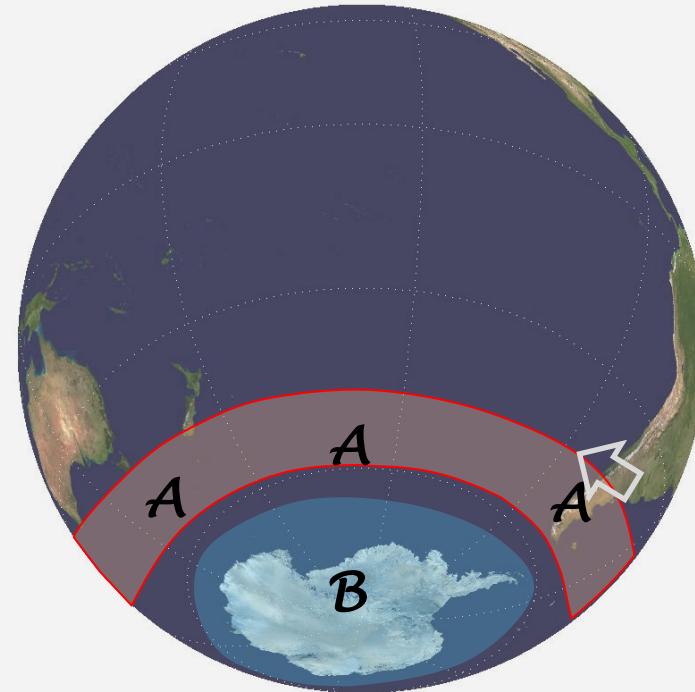
El terrible 2016 (JFM)



Impacto de El Niño (ENOS) y el Modo Anular del Sur (SAM+) en Patagonia durante primavera-verano



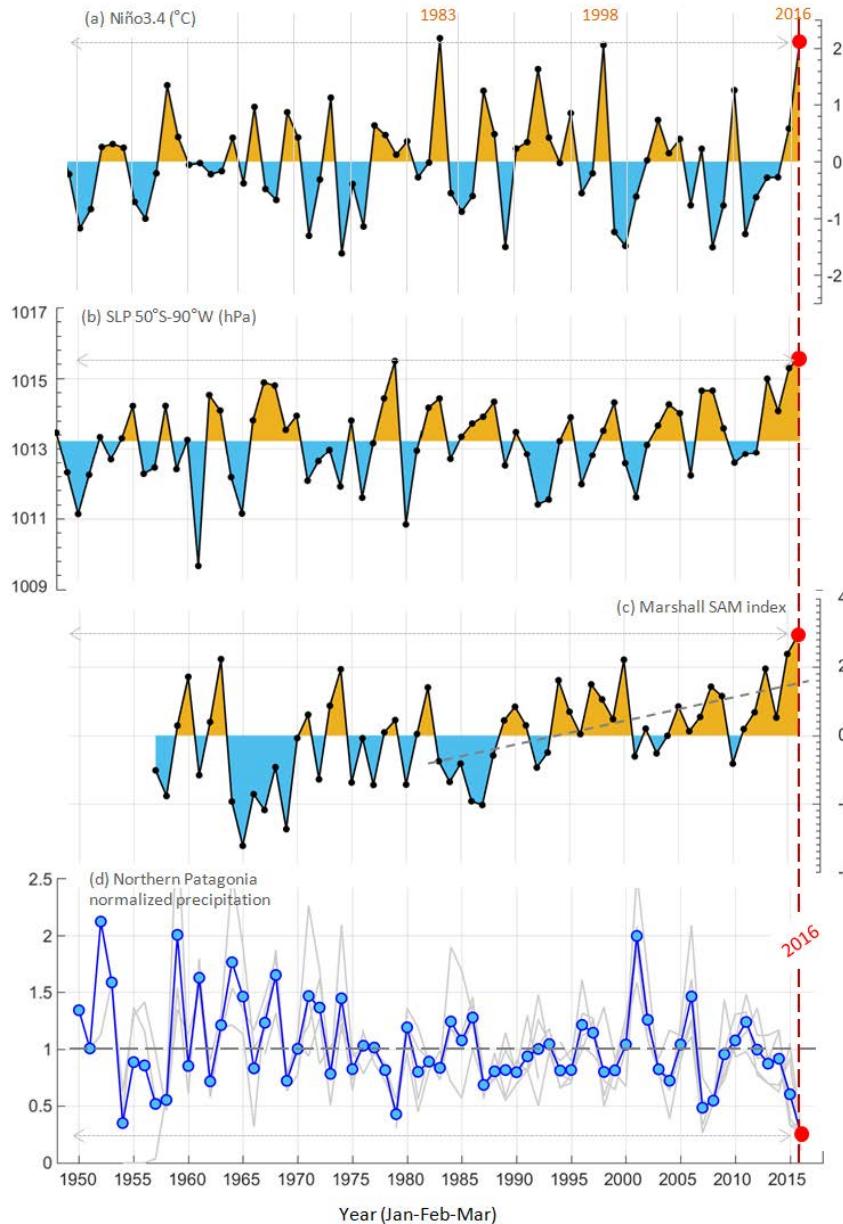
Fase ENOS+
(Variabilidad Natural)



Fase SAM+
(Antrópico: GEI y O3)

Diferentes forzamiento, respuesta similar:
Condiciones anticiclonicas y sequia en Patagonia

Condiciones de gran escala – EFM 2016



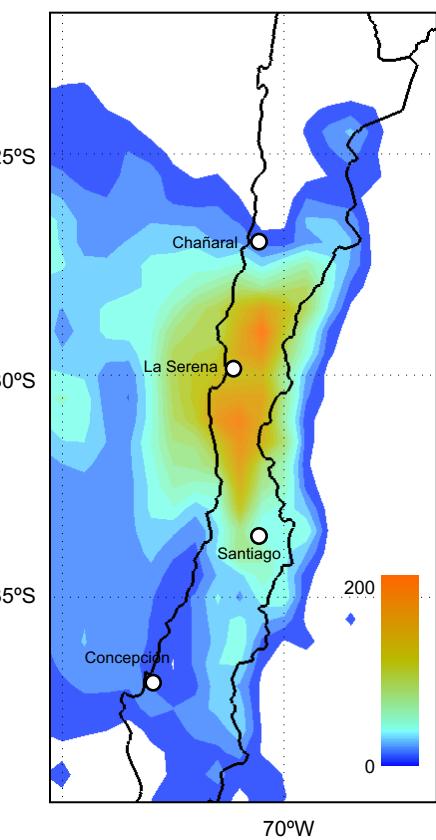
El Niño!
Natural....

SAM!
Antropogénico

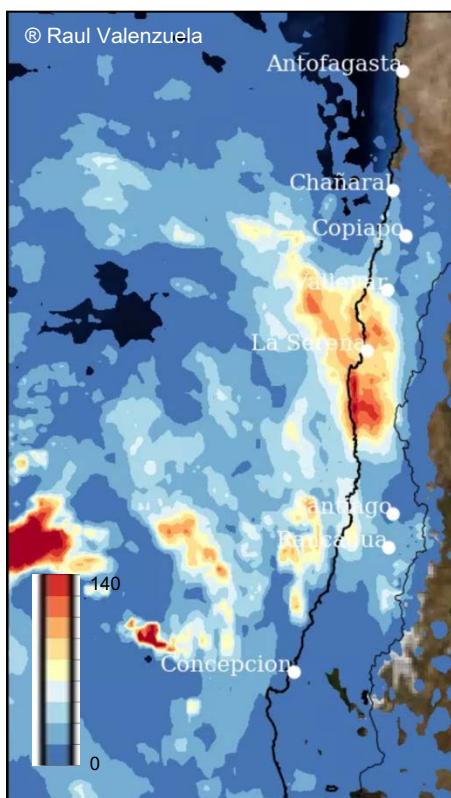
Tormentas en el norte chico

72 hr accumulated precipitation in mm (May 11-12-13, 2017)

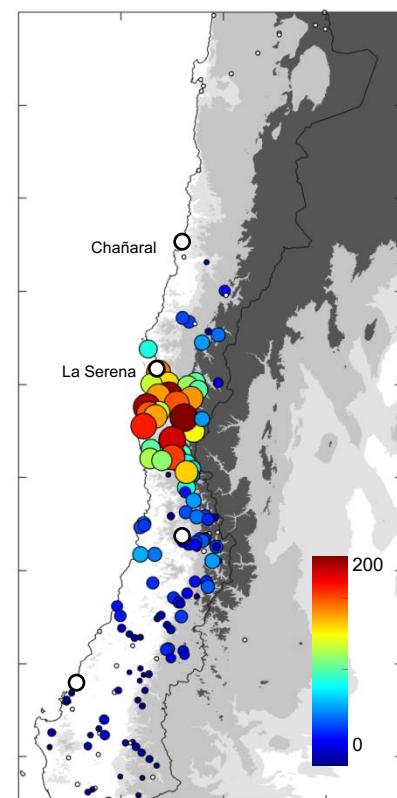
(a) GFS forecast



(b) IMERG (satellite)



(c) Stations (DGA, DMC, CEAZA)



(d) MODIS Terra (May 13)



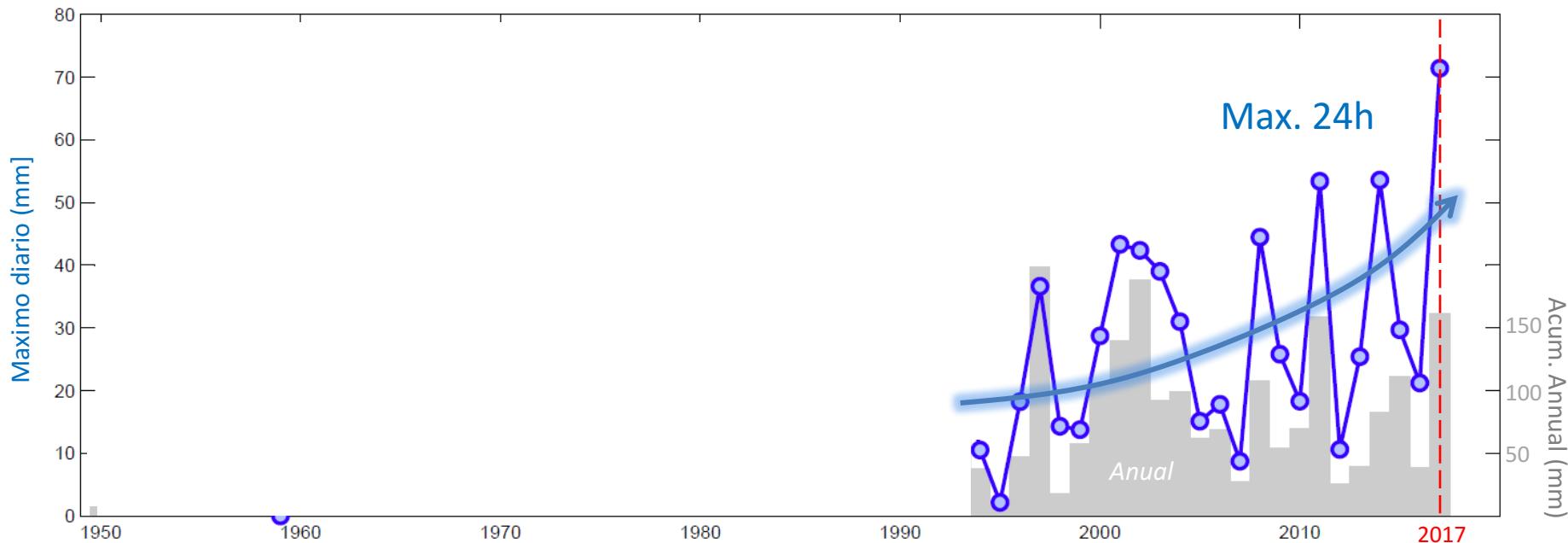
Indicadores de eventos extremos climáticos

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

Índice→ ↓Estación	Precipitació n total mm/d	Número de días con prec.	Índice de Intensidad mm/día/d	Prec. Extrema mm/d	5 días consecuti vos mm/d	Días con prec. fuerte días/d	Días con prec. intensa días/d	Nro. De días consecutivos húmedos días/d
Chucuyo Retén	10.6	0.8	0.2	3.7	3.7	0.2	0.0	0.4
Coyacagua	2.1	-0.5	0.3	0.0	2.4	0.0	0.0	-0.3
Copiapó	0.9	0.1	-0.1	0.9	0.4	0.0	0.0	0.0
Santa Juana	2.0	0.2	-0.5	0.4	0.4	0.0	0.0	0.1
La Serena	-1.2	-0.2	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	-0.1
Rivadavia	-0.8	0.0	-0.1	-0.3	-0.5	0.0	0.1	0.1
Hurtado	-4.5	-0.4	0.2	-0.9	-0.9	0.0	-0.1	0.0
Paloma Embalse	-4.0	-0.3	0.0	-2.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
San Agustín	-6.4	0.7	-1.1	-1.3	-4.0	-0.3	-0.1	0.1
Pedernal Hacienda	1.1	-0.2	0.1	4.7	2.2	-0.2	0.0	-0.1
San Felipe	-2.3	-0.2	0.0	2.0	-1.5	0.0	0.1	0.0
Rungue Embalse	-13.8	-0.5	-0.3	2.3	-8.0	-0.3	-0.3	-0.2
Valparaíso	-2.5	-1.1	0.7	8.8	1.5	-0.1	-0.1	-0.3
Santiago	-3.6	-0.6	0.1	0.7	-0.7	0.1	0.1	-0.2
Juan Fernández	-17.3	-5.4	0.2	8.6	0.9	0.0	0.1	-0.7
Carmen de las Rosas	-14.3	-1.3	0.4	5.4	-5.9	-0.4	-0.2	-0.3
Curicó	-35.0	-1.8	-0.2	1.0	-8.8	-0.5	-0.4	-0.3
Los Queñes	-64.5	-0.5	-1.0	-1.9	-12.2	-1.5	-0.9	-0.2
Colbún (Maula Sur)	-14.6	-0.8	0.2	-4.1	-9.2	0.2	0.1	-0.4
Armerillo	-126.6	-0.7	-1.5	-7.5	-20.6	-1.5	-1.7	-0.1
Digua Embalse	-21.0	-0.5	-0.2	7.4	-3.0	-0.6	-0.2	-0.3
Coelemu	3.9	-2.5	0.5	16.2	5.8	0.4	0.5	-0.4
Chillán	-27.9	-2.1	0.0	4.9	0.5	-0.3	-0.3	-0.4
Nueva Aldea	7.3	-1.3	0.5	19.1	6.8	0.2	0.7	-0.4
Concepción	-39.4	-2.1	-0.2	4.8	-4.5	-0.7	-0.4	-0.2
Diguillín	-8.4	-1.7	0.3	29.0	2.8	-0.7	-0.3	-0.1
Fundo Atacalco	-52.8	-4.3	0.6	12.5	-2.1	-1.3	-0.7	-0.6
Los Angeles	-19.2	2.4	-0.7	4.3	-3.4	-0.8	-0.4	0.4
Cerro El Padre	-25.7	1.9	-0.7	13.2	1.6	-1.4	-0.8	-0.1
Cañete	-7.6	3.1	-0.6	30.7	-0.3	-0.9	-0.2	-0.3
Lumaco	18.9	3.7	-0.2	16.2	4.0	0.3	0.4	0.6
Temuco	-19.4	-3.2	0.1	5.2	-1.1	-0.1	0.1	-0.2
Villarrica	4.4	-3.1	0.4	2.9	2.6	0.7	1.0	-0.2
Valdivia	-69.0	-3.7	-0.1	-0.1	-1.7	-1.2	-0.5	-0.1
Lago Ranco	-35.8	-1.8	-0.1	-10.1	1.2	-1.4	-0.3	-0.1
Osorno	-41.4	-4.1	0.0	5.8	-0.8	-1.0	-0.2	-0.1
Puerto Montt	-95.6	-4.1	-0.3	-11.0	-3.1	-1.9	-0.7	-0.6
Coyhaique	-30.1	-0.8	-0.2	-4.7	-3.7	-0.7	-0.5	-0.4
Balmaceda	-31.5	-2.9	-0.1	1.8	-1.9	-0.6	0.0	-0.4
Punta Arenas	7.5	1.4	0.0	3.8	2.4	0.1	0.1	0.0

Tormentas en el norte chico

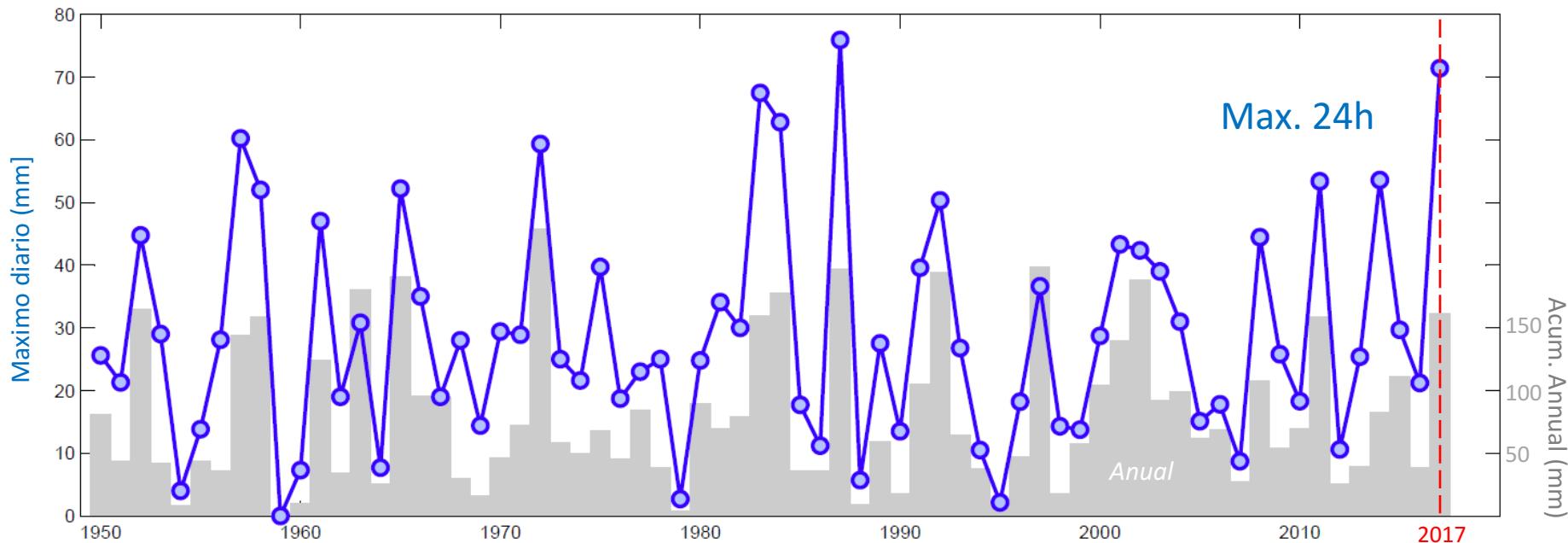
Extremos de precipitación en La Serena



Ahora lo ve....

Tormentas en el norte chico

Extremos de precipitación en La Serena



Ahora no lo ve....

Conclusiones I

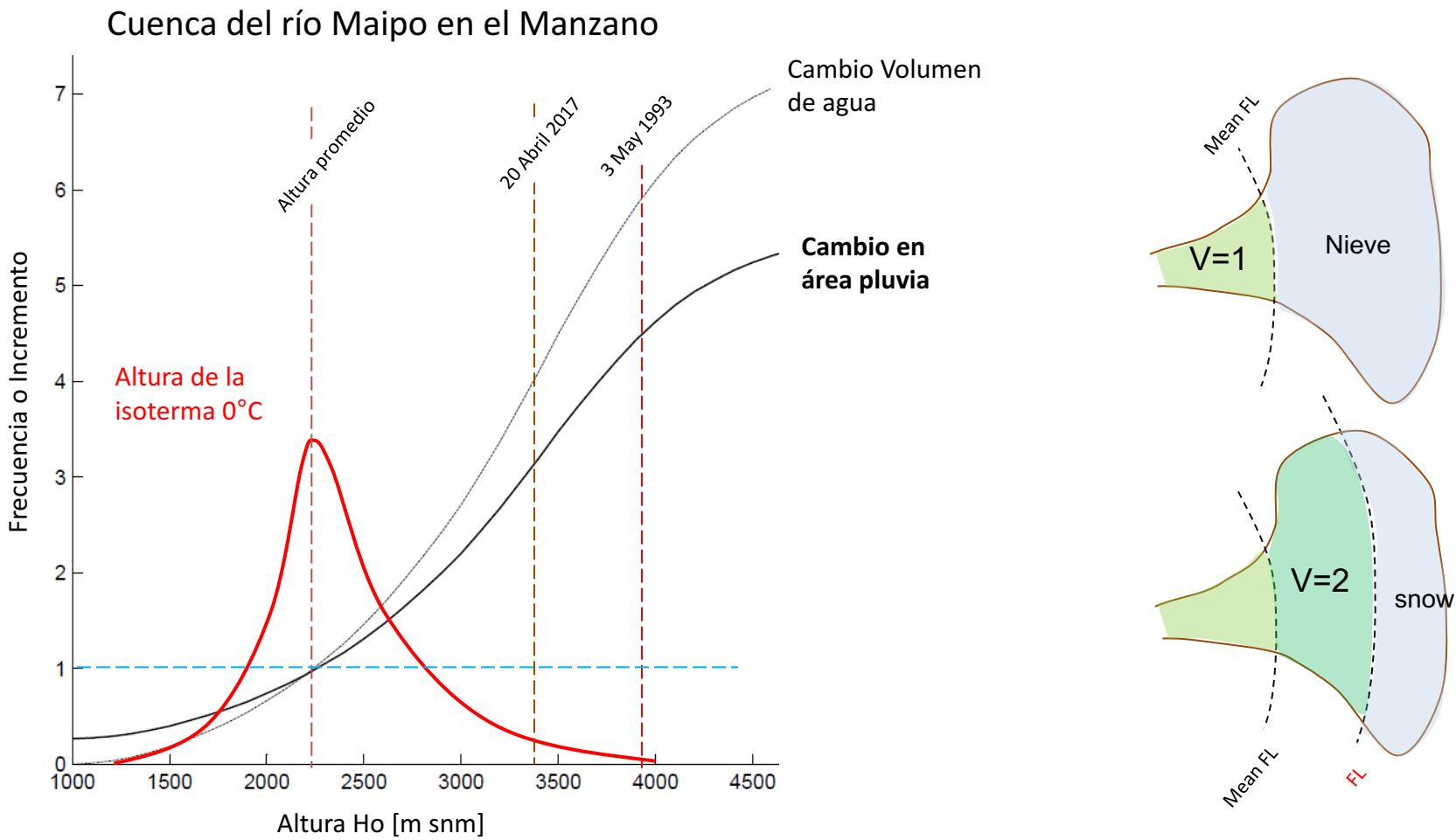
- Eventos extremos ocurren por una combinación de variabilidad climática, cambio climático y meteorología sinóptica
- Tendencias de extremos en Chile no siempre siguen tendencias globales
- **Para enfrentar lo peor necesitamos lo mejor!**
(debemos mantener e incrementar nuestra capacidad de seguimiento ambiental y pronósticos meteorológicos)

Conclusiones II

- Las anomalías de circulación producto del cambio climático han **contribuido** a la ocurrencia de **sequias** y **olas de calor** en Chile.
- Lo anterior implica un posible aumento de estos eventos en el futuro (**suponiendo que ENOS mantiene variabilidad actual**).
- No ocurre lo mismo con las **tormentas de verano**. Otros eventos extremos (como las **tormentas de invierno**) deben ser analizadas específicamente.

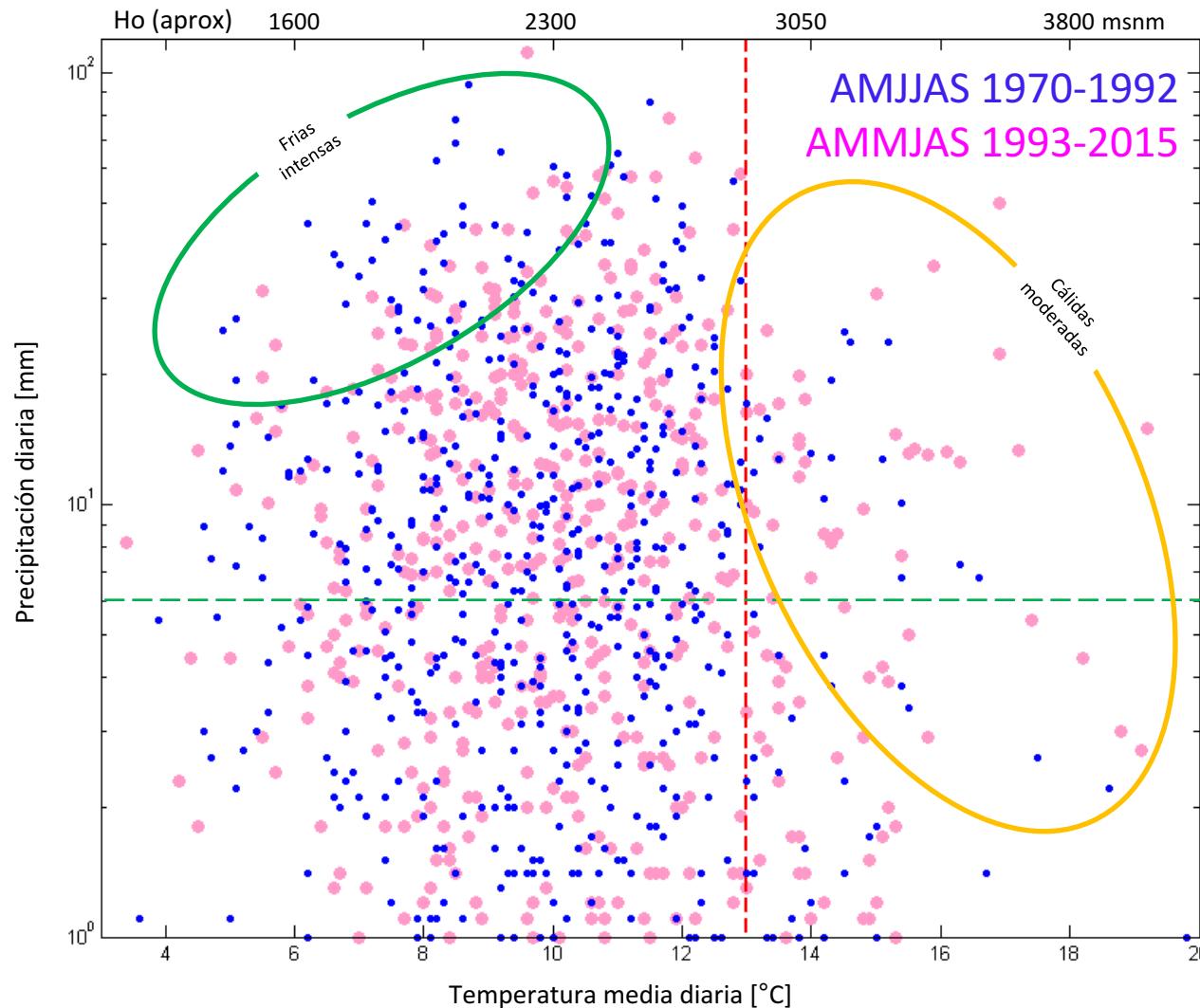
Material suplementario

Hydrological Impacts



Están cambiando las tormentas sobre Chile central?

Estación Quinta Normal, Datos Diarios



Están cambiando las tormentas sobre Chile central?

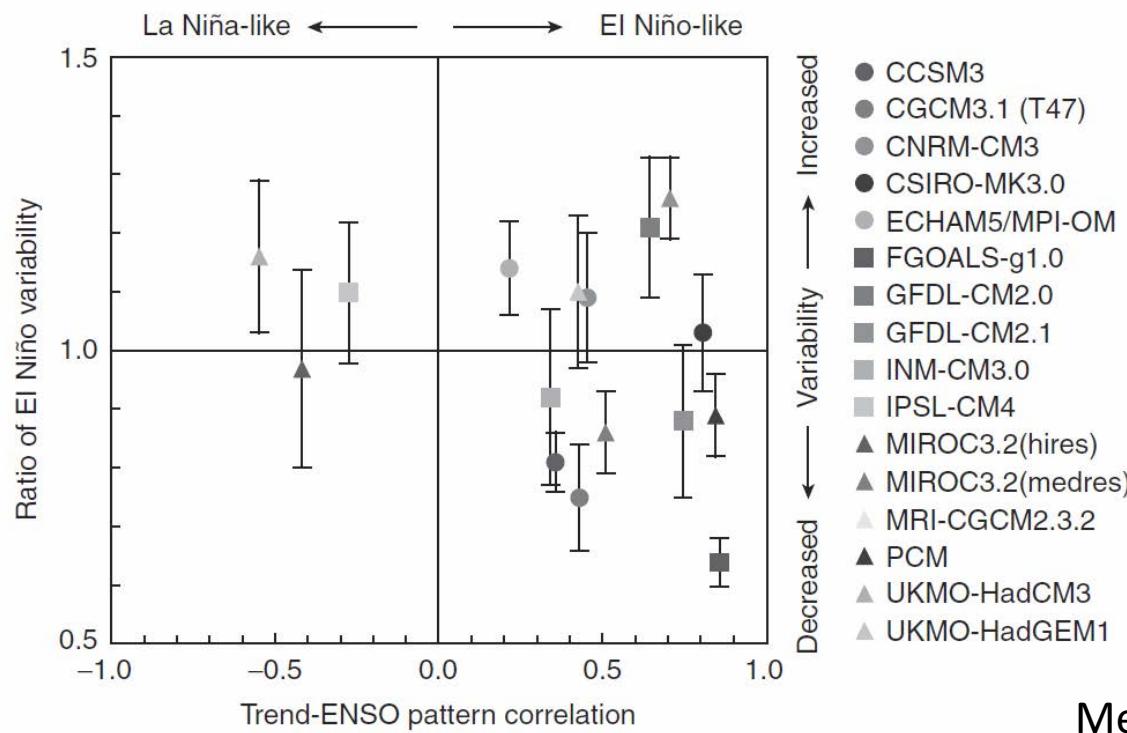
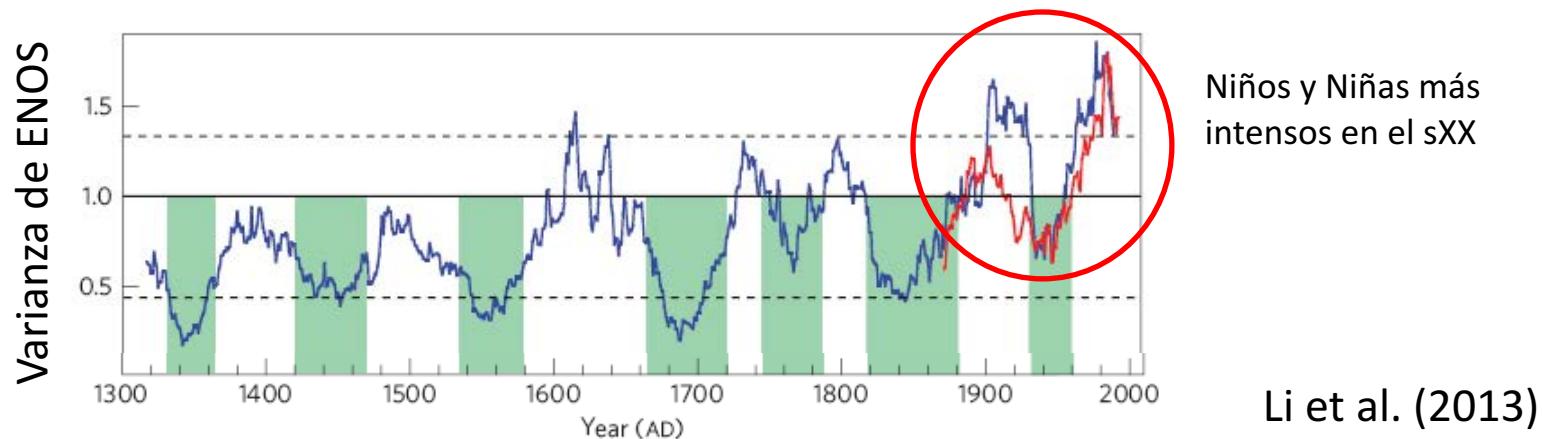
Estación Quinta Normal, Datos Diarios

Number of days (4920 total)	1970-1992	1993-2015	Difference*	Sig. level**
Dry days ($P==0$)	4052	4190	+138 (3%)	1%
Light precipitation ($P: 1-10 \text{ mm}$)	338	282	-56 (-16%)	2%
Moderate precipitation ($P: 10-30 \text{ mm}$)	184	175	-9 (-5%)	30%
Heavy precipitation ($P>30 \text{ mm}$)	58	43	-15 (25%)	5%
Dry, warm days ($T \geq 13^\circ\text{C}$)	1484	1648	+164 (+10%)	0.5%
Rainy ($P \geq 5 \text{ mm}$), Warm days ($T \geq 13^\circ\text{C}$)	19	36	+17 (90%)	4%

Santiago se está
calentando y secando...
ya lo sabíamos!

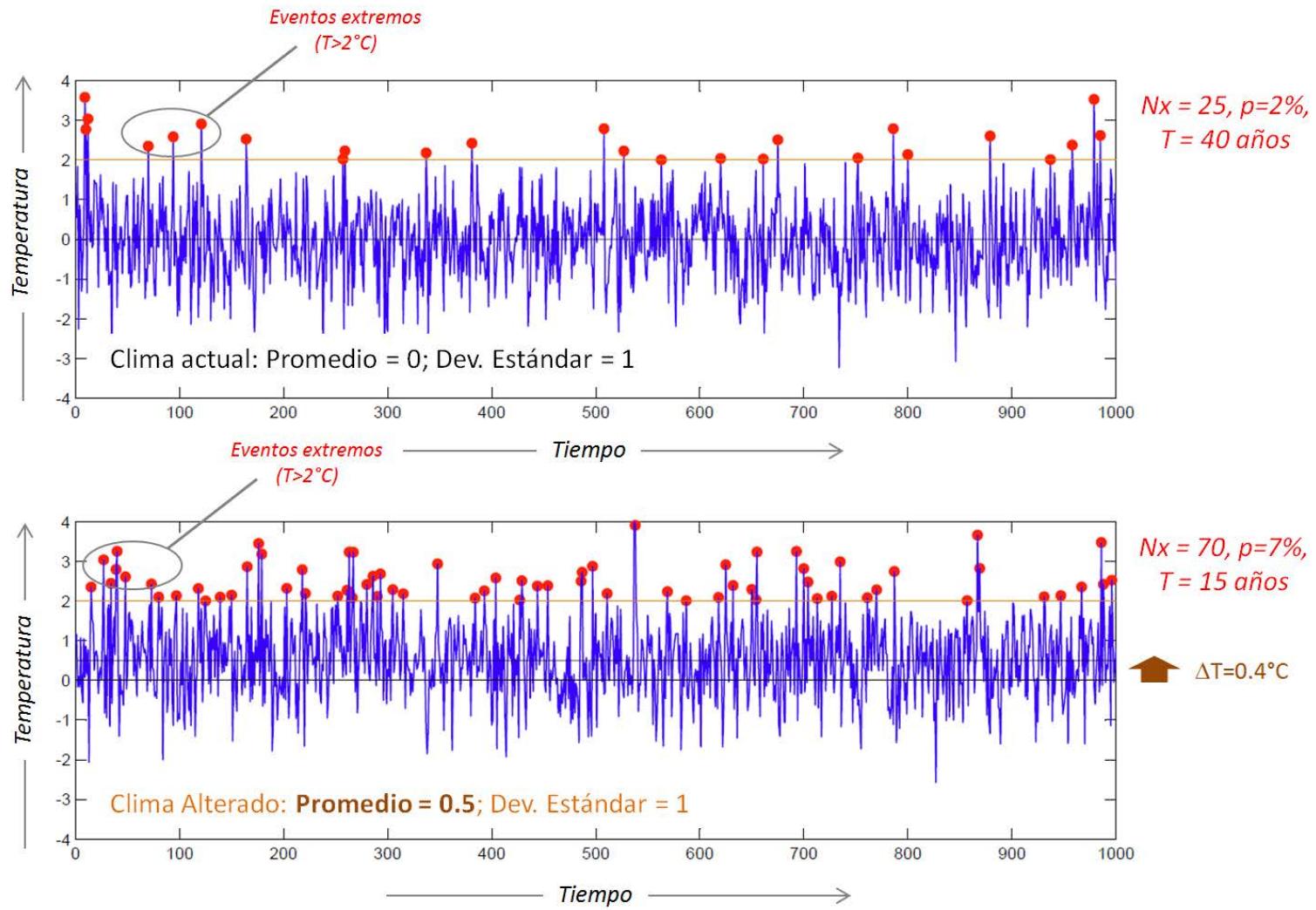
Más tormentas cálidas
Esto parece novedoso

Perspectiva Global. Que pasa con ENOS?

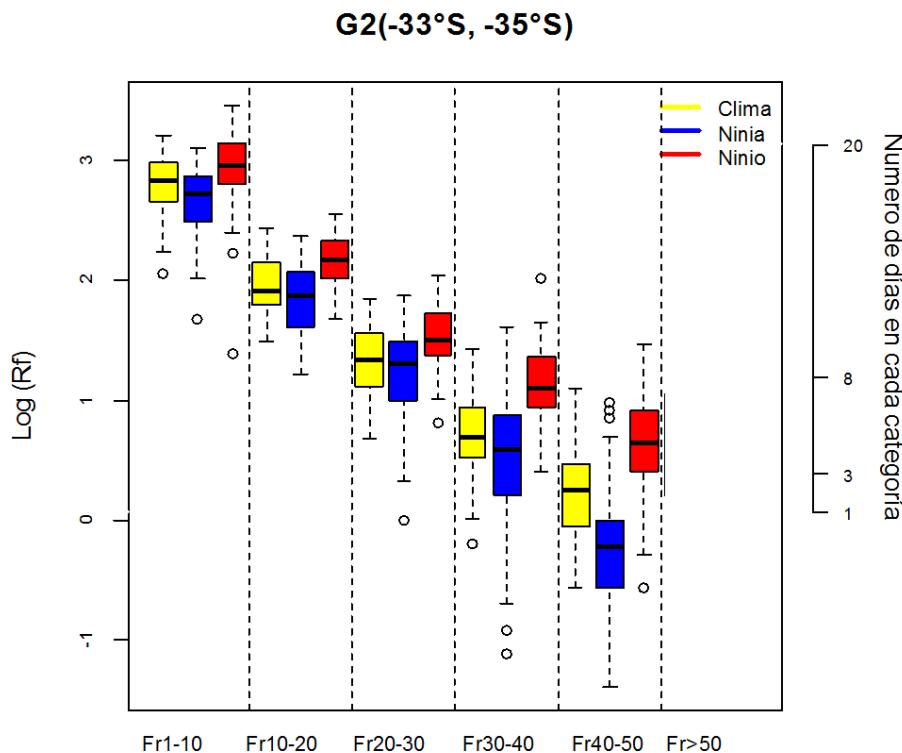
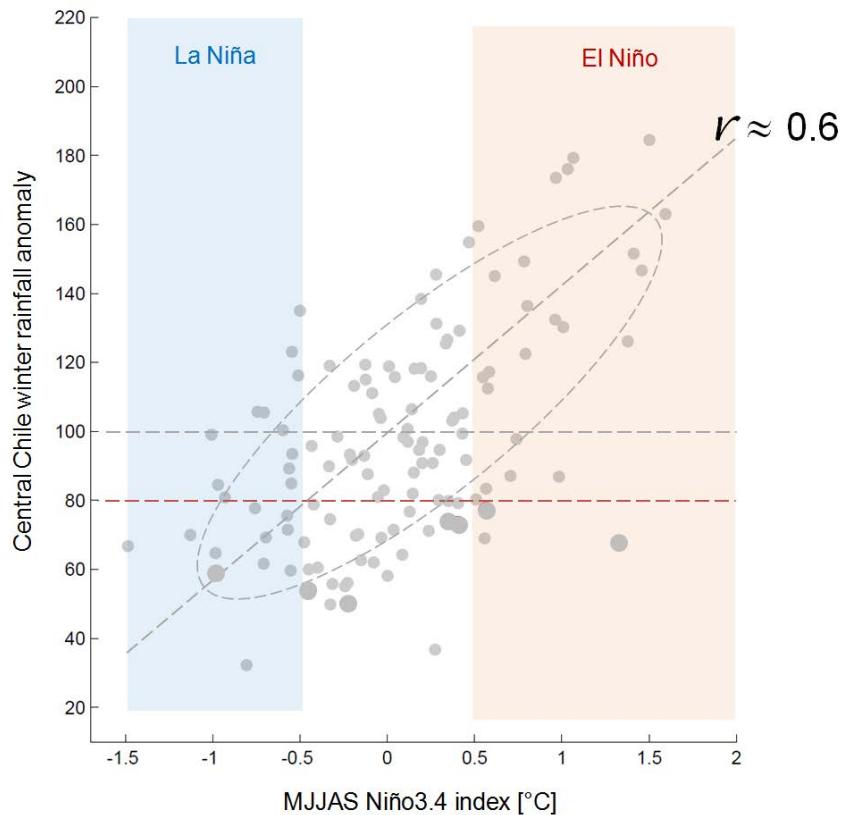


Un modesto cambio en el promedio produce grandes cambios en los extremos

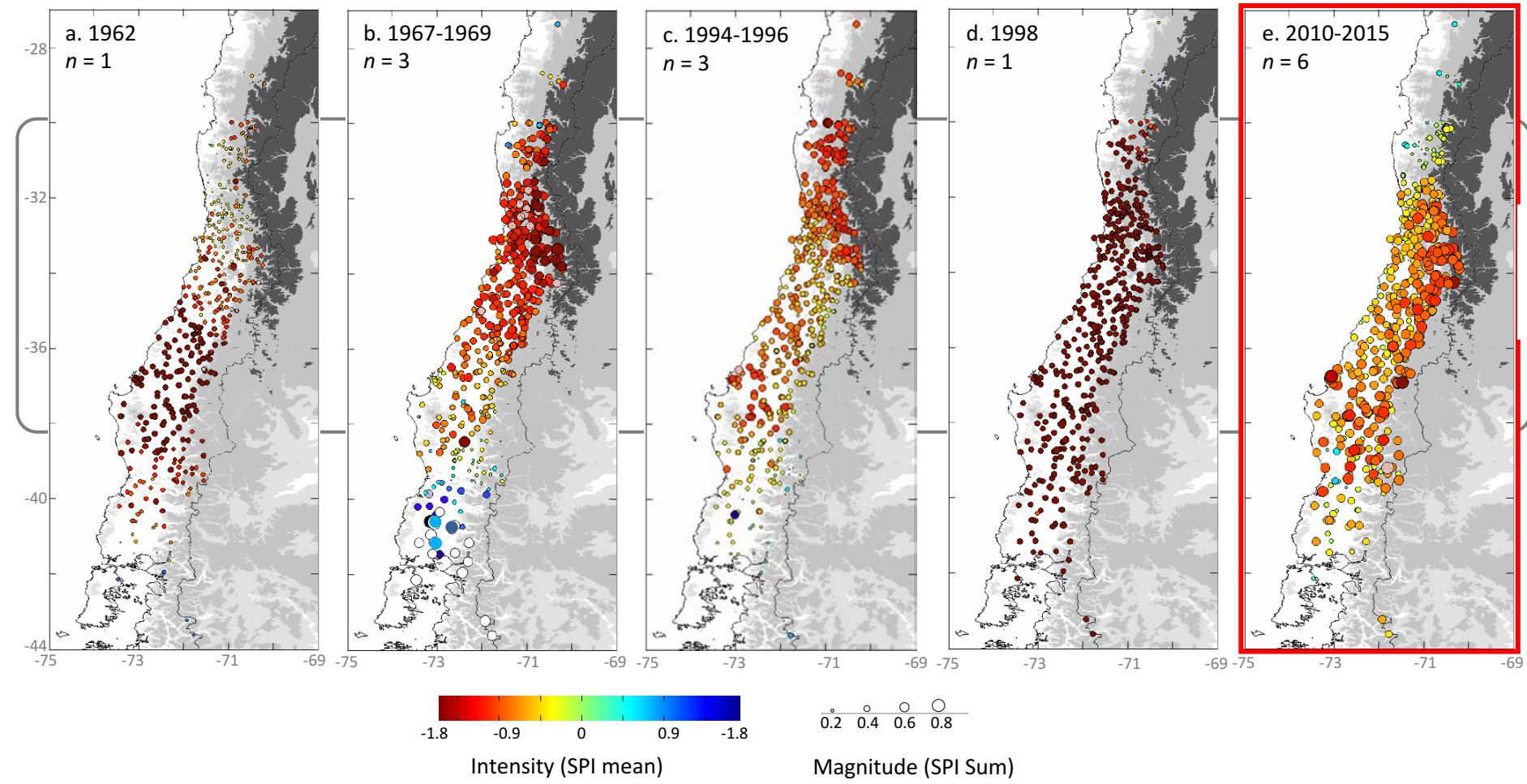
Consideramos una variable “normal”



IMPACTO DE ENSO SOBRE LA LLUVIA EN CHILE CENTRAL



La Megasequía 2010-2015



La Niña no es todo...

