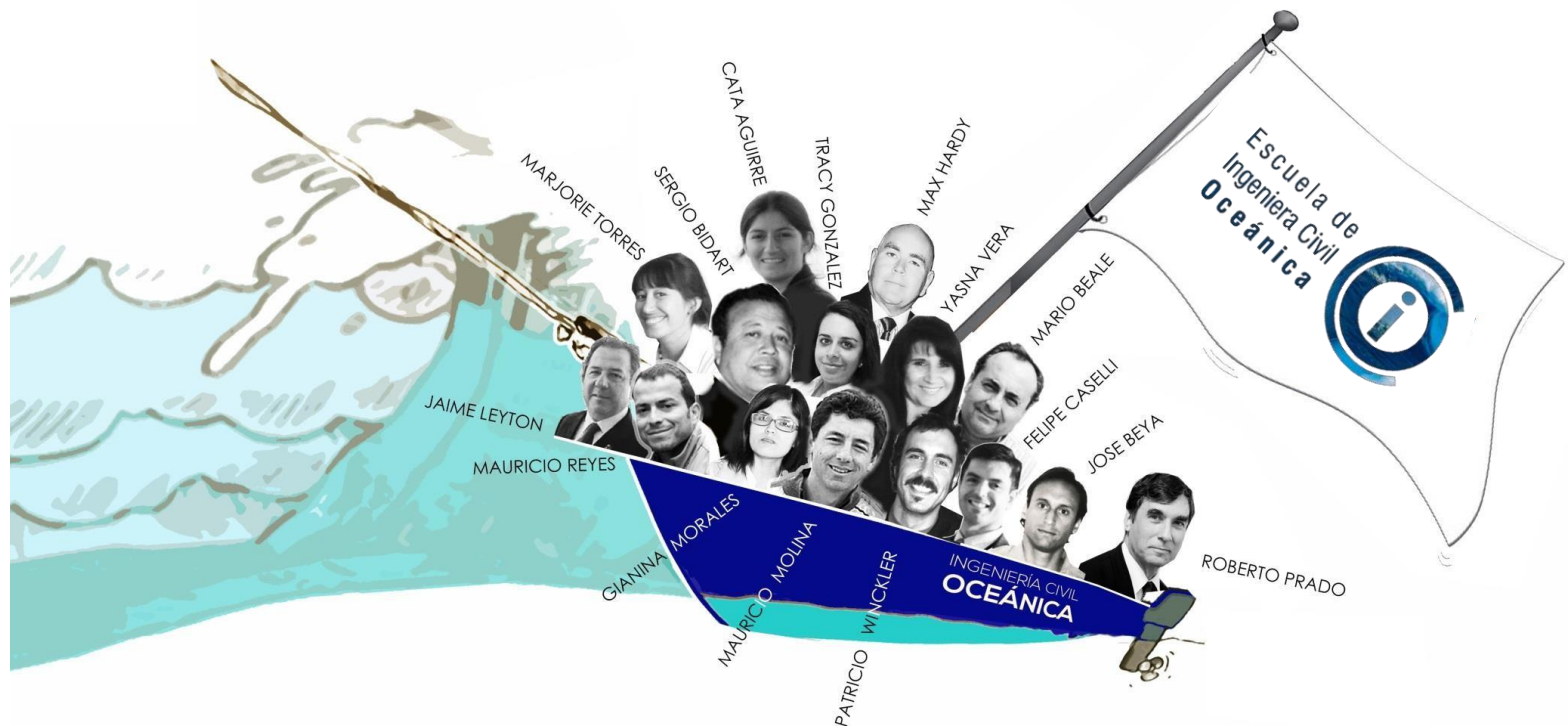


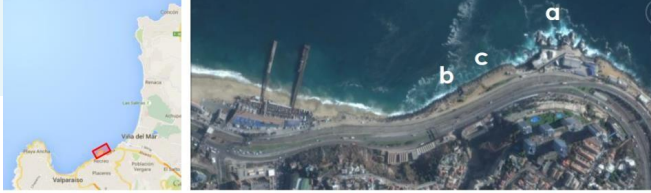
# TEMAS EMERGENTES

## VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE





[www.ingenieriaoceanica.uv.cl](http://www.ingenieriaoceanica.uv.cl)



AMENAZAS

IMPACTOS



**Tercera  
Comunicación  
Nacional  
sobre  
Cambio  
Climático**

SECTOR  
**ZONAS COSTERAS**

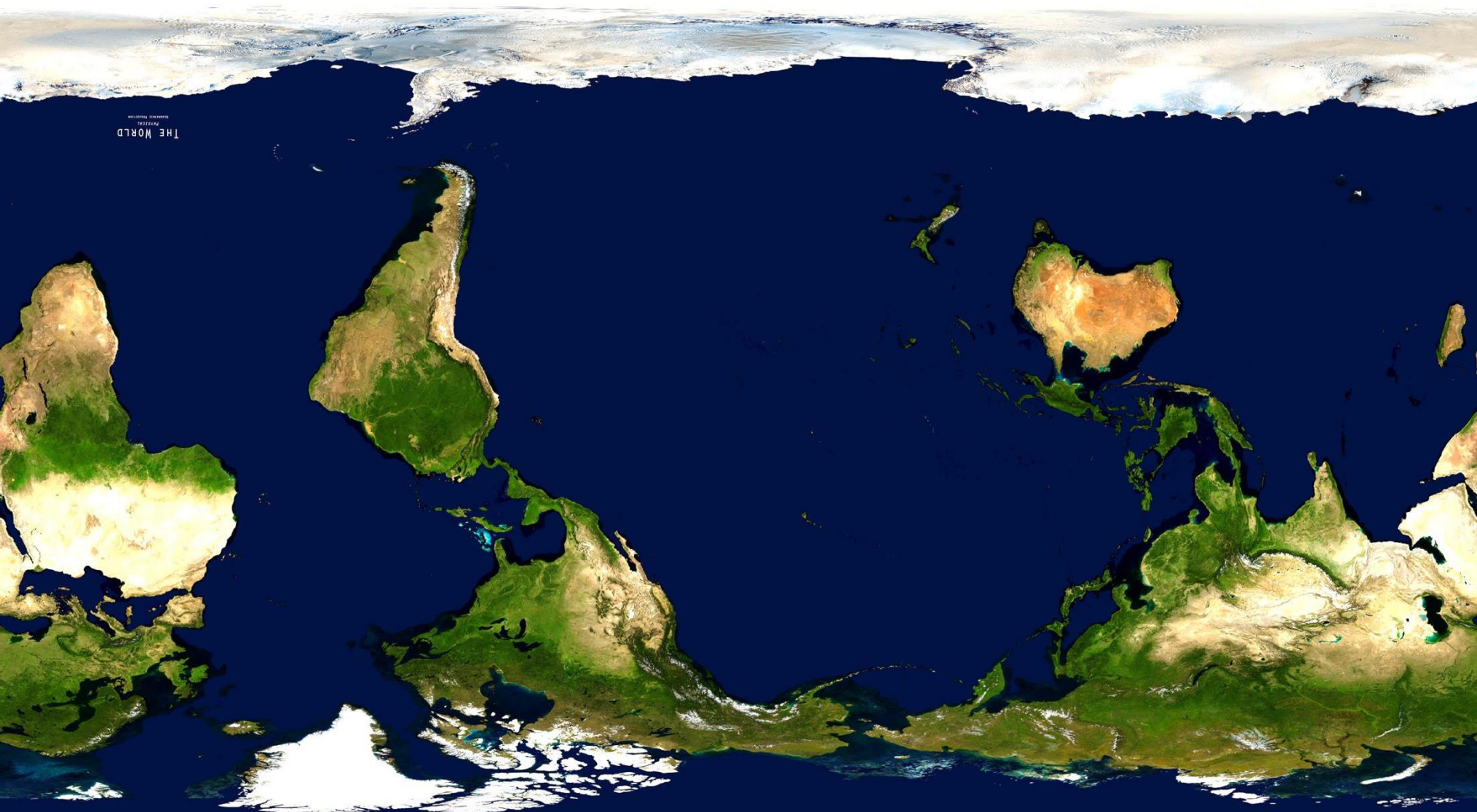
ADAPTACIÓN

Integración disciplinaria

+ Relocalizar  
 Norma de diseño  
 Reforzar

Ordenamiento  
 territorial





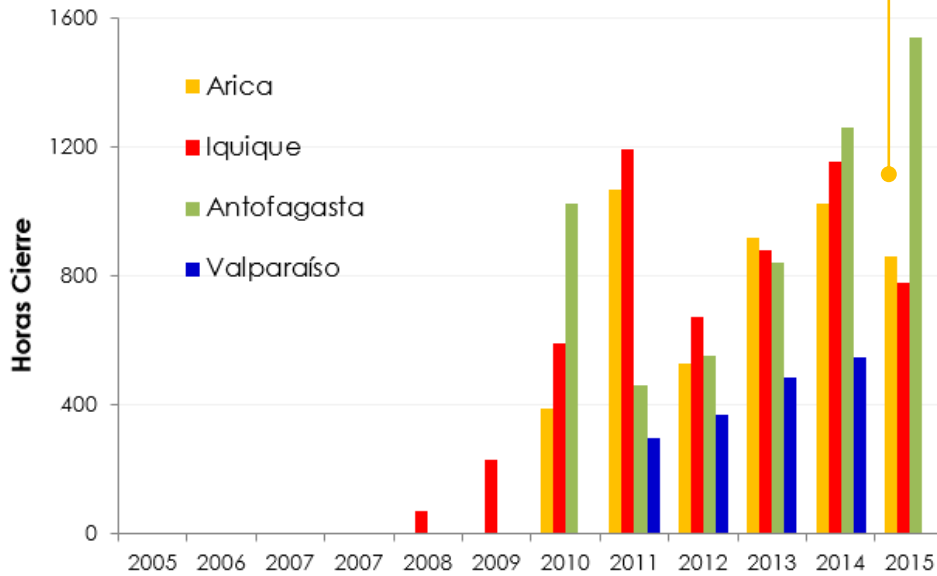






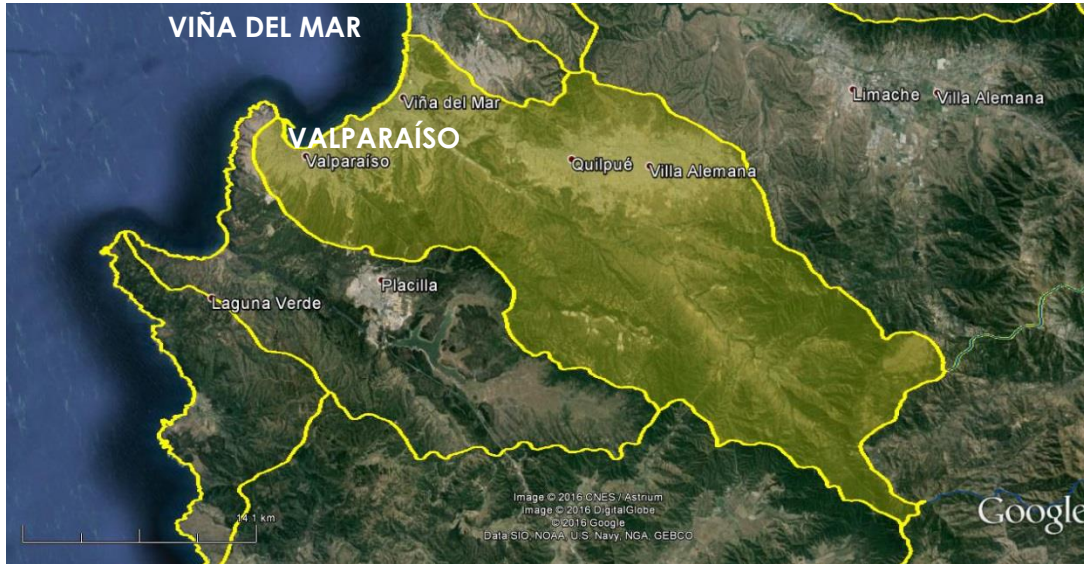
4,8 MM US/año

65 días



# VULNERABILIDAD

## TERRITORIO URBANO CAMBIANTE



## AMENAZAS

TERREMOTOS

TSUNAMIS

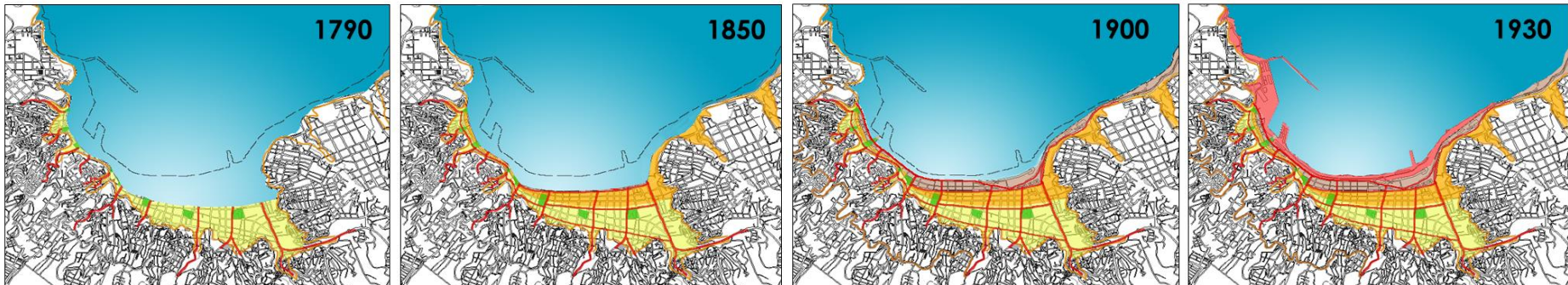
MAREJADAS

INUNDACIONES

INCENDIOS

CAMBIO CLIMATICO

## TERRITORIO COSTERO CAMBIANTE





# AMENAZAS

## ZONA COSTERA



## EXPLOTACIÓN

MERCANCÍA

EMBARCACIÓN

MAQUINARIA

TRANSPORTE

ACCESOS

AMBIENTALES

JURÍDICAS

SOCIALES

## ATMOSFÉRICAS

TEMPERATURA

PRESIÓN  
ATMOSFÉRICA

NUBOSIDAD

VIENTO

## HIDROLÓGICAS

PRECIPITACIÓN

EVAPORACIÓN

ESCORRENTÍA

## MARÍTIMAS

NIVEL MEDIO MAR

OLEAJE

ONDAS LARGAS

TSUNAMIS

MAREA  
ASTRONÓMICA

MAREA  
METEOROLÓGICA

CORRIENTES

## MORFOLÓGICAS

TOPOGRAFÍA

BATIMETRÍA

SUELOS

SEDIMENTOS

MORFODINÁMICA

SISMOS

TECTÓNICA

## EXPLOTACIÓN

MERCANCÍA

EMBARCACIÓN

MAQUINARIA

TRANSPORTE

ACCESOS

AMBIENTALES

JURÍDICAS

SOCIALES

## ATMOSFÉRICAS

TEMPERATURA

PRESIÓN  
ATMOSFÉRICA

NUBOSIDAD

VIENTO

## HIDROLÓGICAS

PRECIPITACIÓN

EVAPORACIÓN

ESCORRENTÍA

## MARÍTIMAS

NIVEL MEDIO MAR

OLEAJE

ONDAS LARGAS

TSUNAMIS

MAREA  
ASTRONÓMICA

MAREA  
METEOROLÓGICA

CORRIENTES

## MORFOLÓGICAS

TOPOGRAFÍA

BATIMETRÍA

SUELOS

SEDIMENTOS

MORFODINÁMICA

SISMOS

**Directamente  
afectados por  
cambio climático**





## EXPLOTACIÓN

MERCANCÍA

EMBARCACIÓN

MAQUINARIA

TRANSPORTE

ACCESOS

AMBIENTALES

JURÍDICAS

SOCIALES

## ATMOSFÉRICAS

TEMPERATURA

PRESIÓN  
ATMOSFÉRICA

NUBOSIDAD

VIENTO

## HIDROLÓGICAS

PRECIPITACIÓN

EVAPORACIÓN

ESCORRENTÍA

## MARÍTIMAS

NIVEL MEDIO MAR

OLEAJE

ONDAS LARGAS

TSUNAMIS

MAREA  
ASTRONÓMICA

MAREA  
METEOROLÓGICA

CORRIENTES

## MORFOLÓGICAS

TOPOGRAFÍA

BATIMETRÍA

SUELOS

SEDIMENTOS

MORFODINÁMICA

SISMOS



Tercera  
Comunicación  
Nacional  
sobre  
Cambio  
Climático

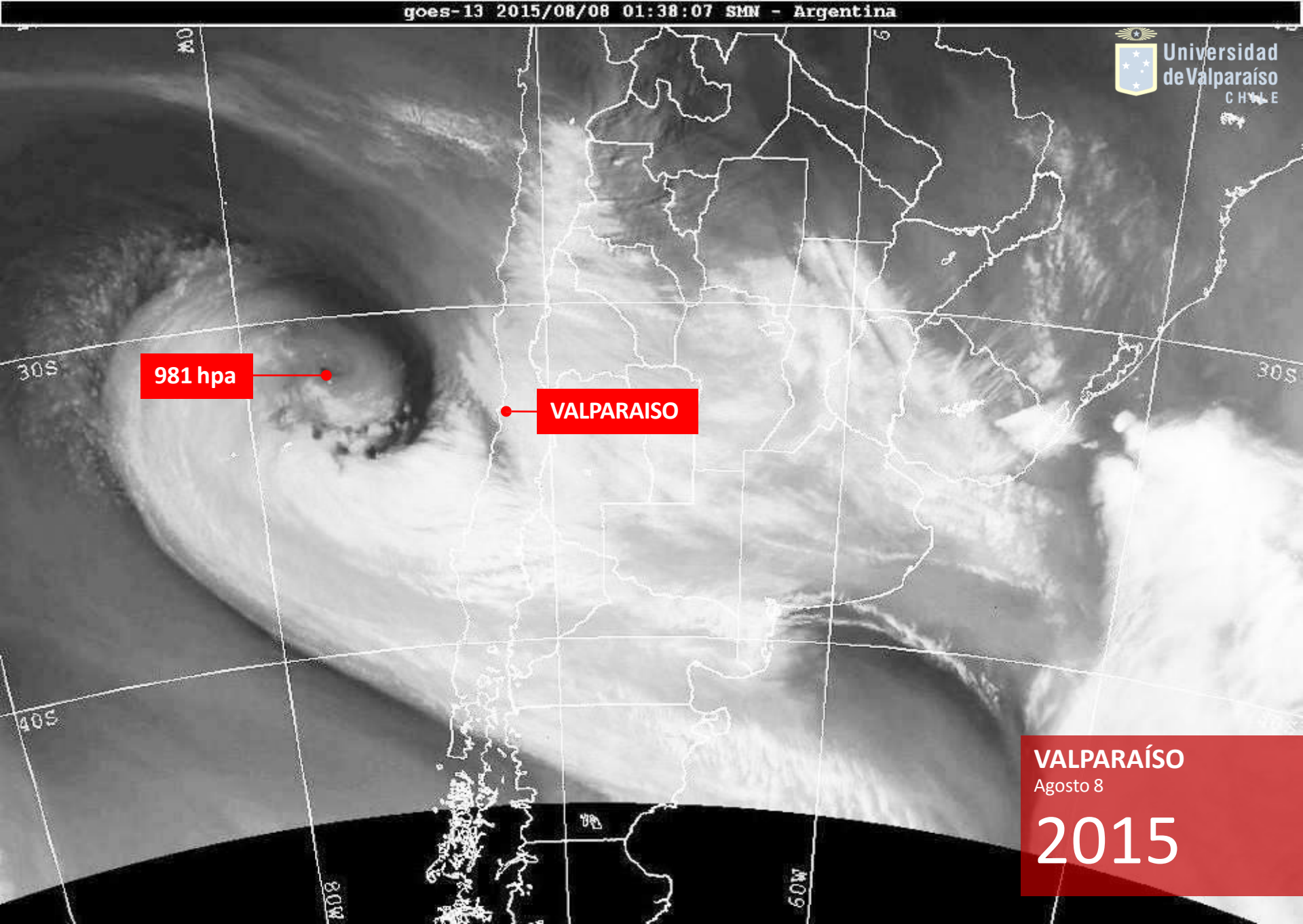


3 > 0

~3/70 páginas



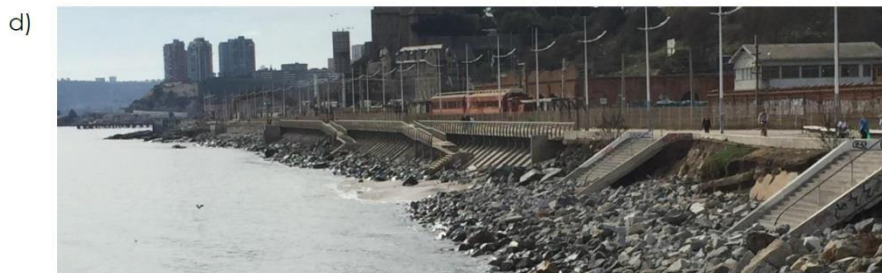




**VALPARAÍSO**  
Agosto 8

**2015**





## PLAYAS

**OPERATIVIDAD** (clima medio)

**ESTABILIDAD** (extremos)

VALPARAÍSO

Agosto 8

2015



# INFRAESTRUCTURA

## DURABILIDAD (extremos)

**VALPARAÍSO**  
Agosto 8  
**2015**





## PUERTOS

**OPERATIVIDAD** (clima medio)

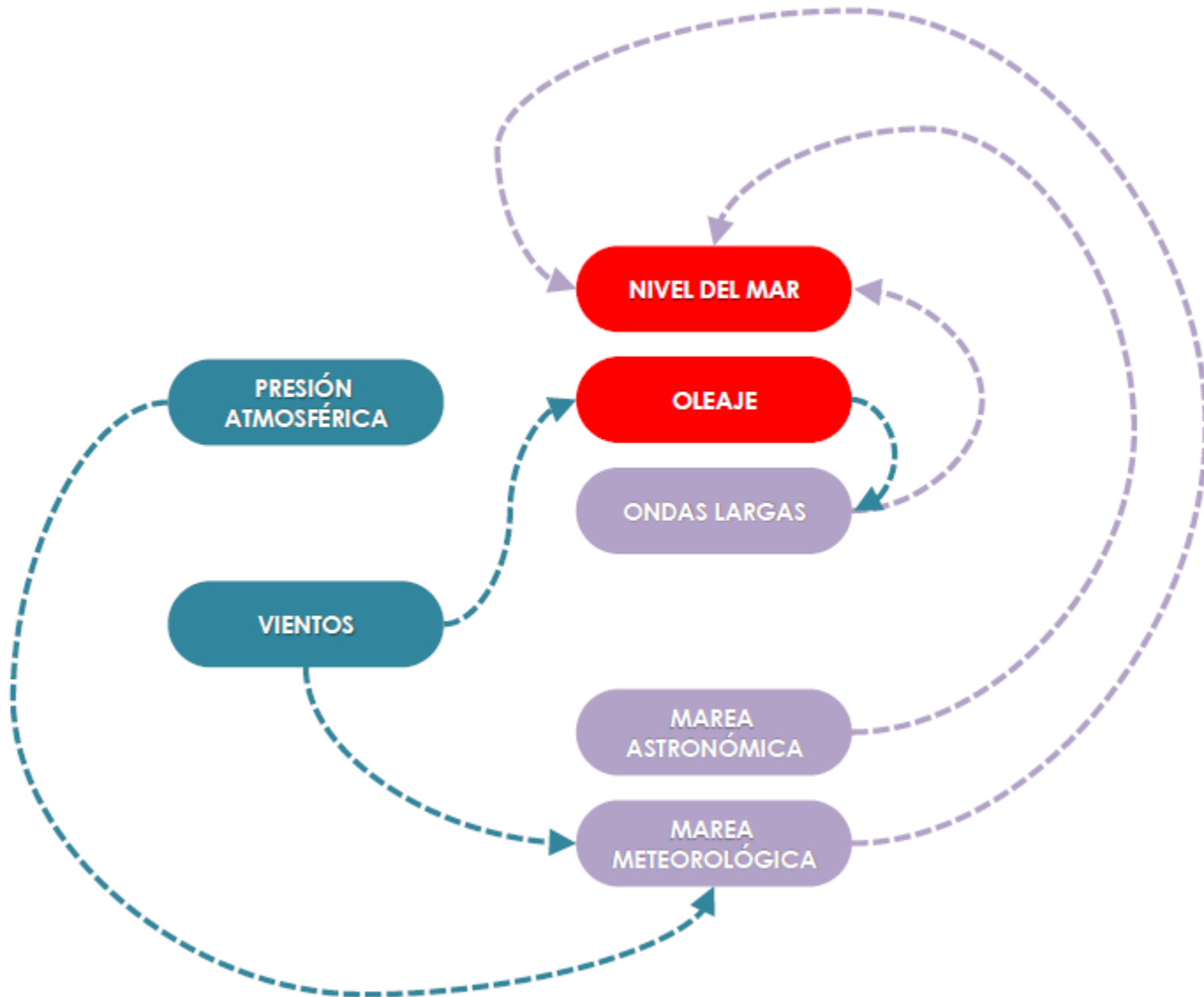
**ESTRUCTURAS** (extremos)

VALPARAÍSO

Agosto 8

2015





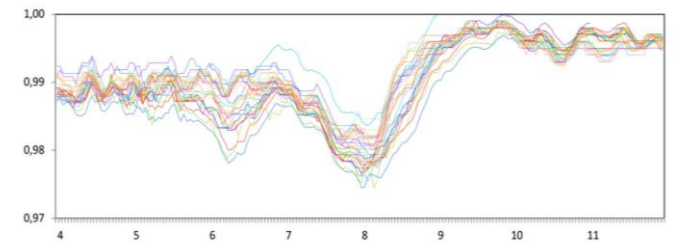
# INSTRUMENTACIÓN

OCÉANO vs CONTINENTE

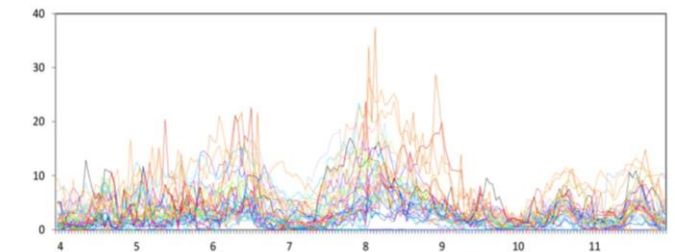


**ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

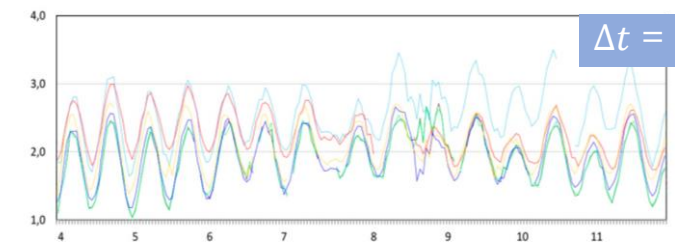
**PRESIÓN ATMOSFÉRICA (-)**



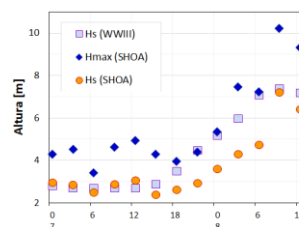
**VIENTO (m/s)**



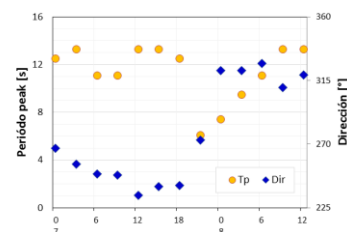
**NIVEL DEL MAR (m)**



$\Delta t = 3 \text{ hr}$



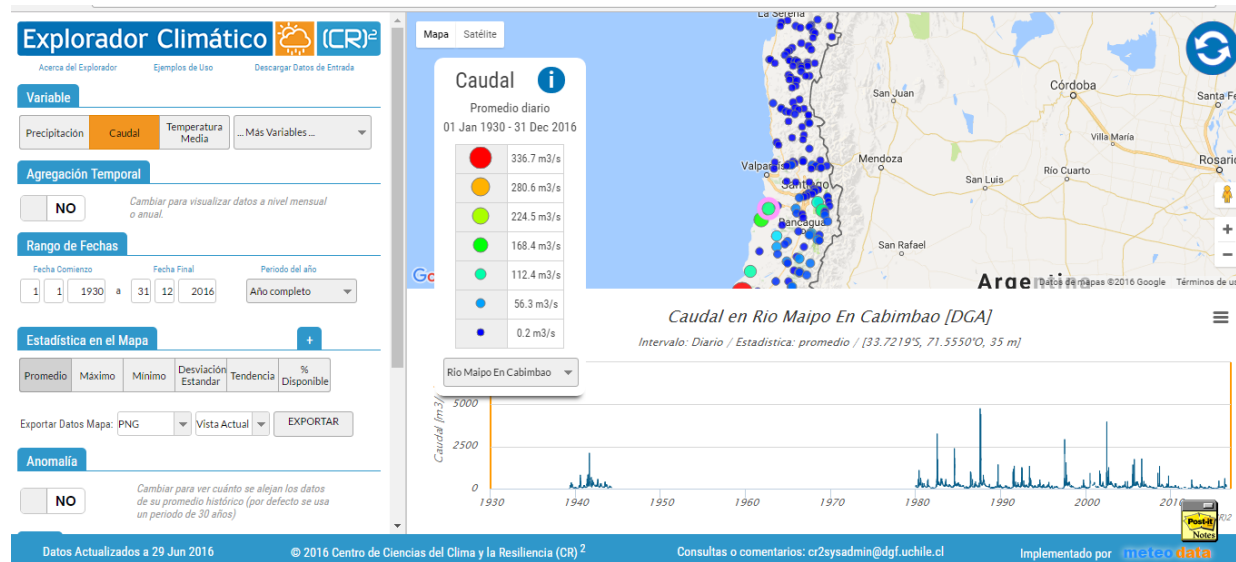
**OLEAJE**



# INSTRUMENTACIÓN

## OCÉANO vs CONTINENTE

(CR)<sup>2</sup>





# INSTRUMENTACIÓN

OCÉANO vs CONTINENTE

40



ESTACIONES MAREOGRÁFICAS

NIVEL MEDIO MAR

OLEAJE

ONDAS LARGAS

TSUNAMIS

MAREA  
ASTRONÓMICA

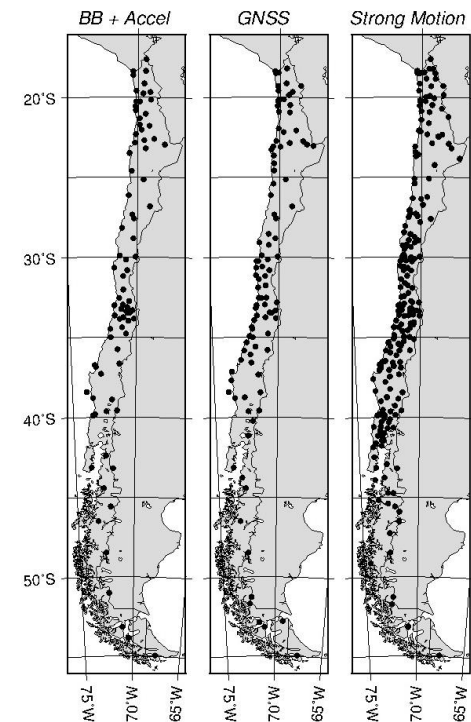
MAREA  
METEOROLÓGICA

CORRIENTES

98

130

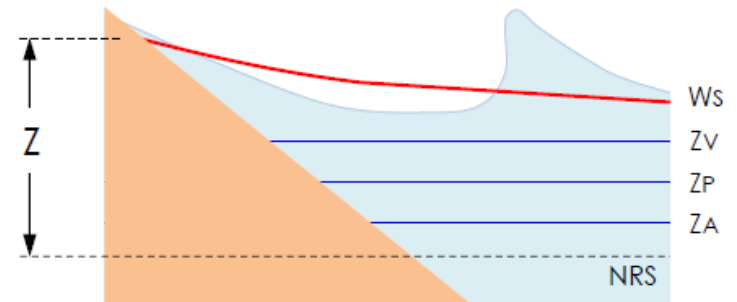
297



ESTACIONES SISMOLÓGICAS

# NIVEL DEL MAR

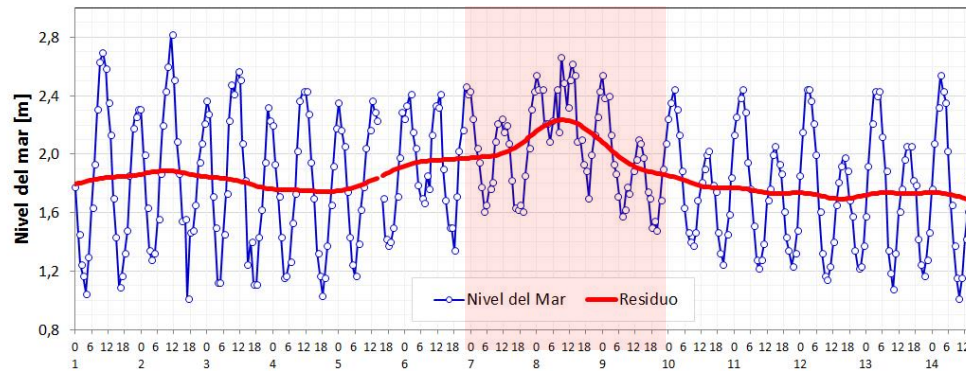
TEMPORAL 8 AGOSTO 2015



**MAREA  
METEOROLÓGICA**

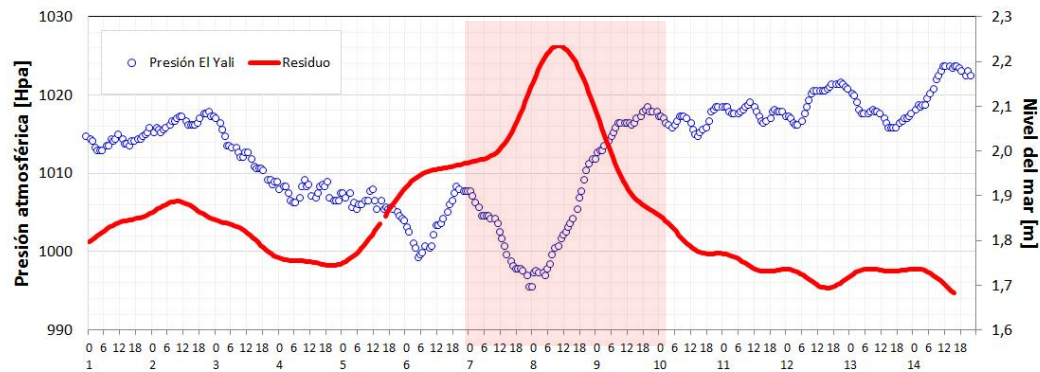
$$Z = \text{NRS} + Z_A + Z_P + Z_V + W_S + O + \dots$$

$Z$	= Nivel del mar
$Z_{\text{NRS}}$	= Nivel de reducción de sondas
$Z_A$	= Marea astronómica
$Z_P$	= Marea meteorológica por variación de la presión atmosférica
$Z_V$	= Marea meteorológica por viento
$W_S$	= Set-up de oleaje
$O$	= Ondas largas



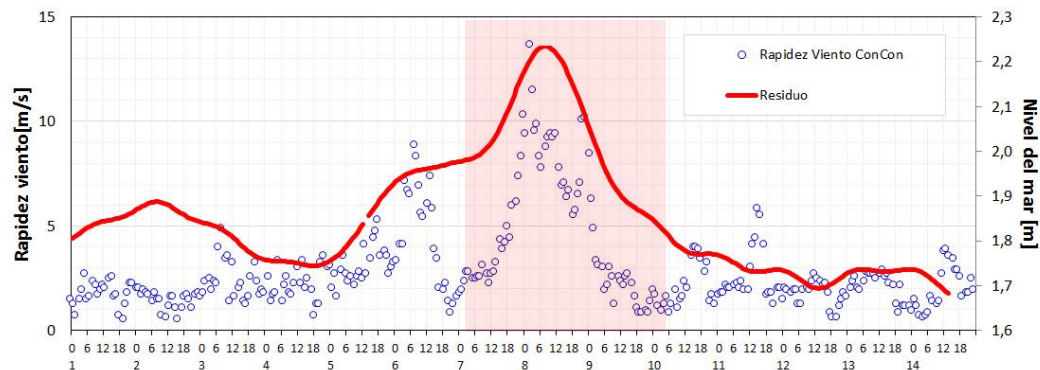
NIVEL DEL MAR

MAREA METEOROLÓGICA



PRESION ATMOSFÉRICA

MAREA METEOROLÓGICA



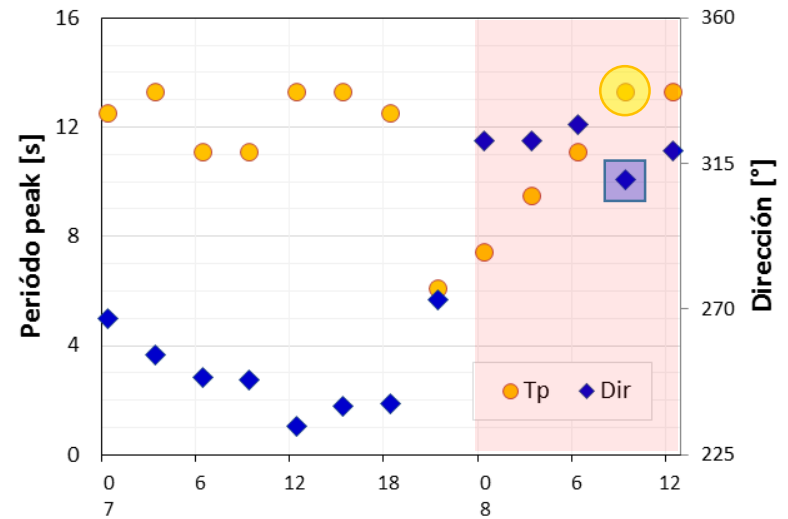
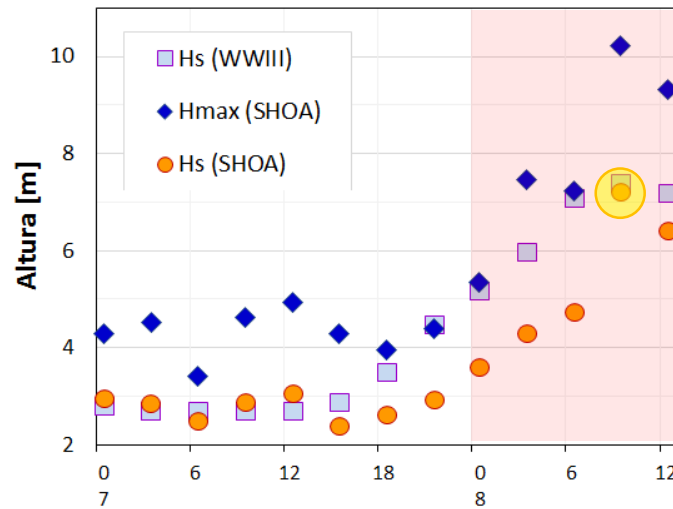
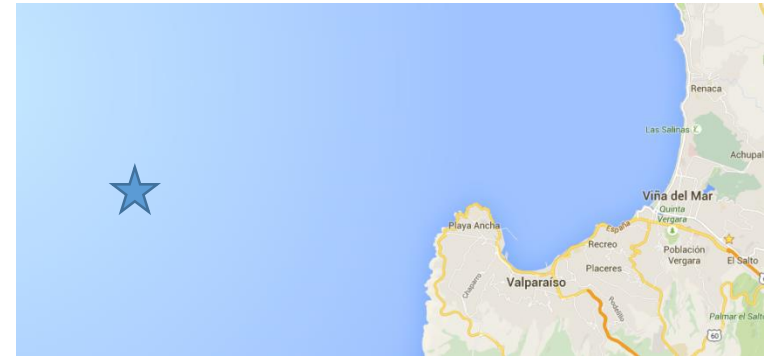
VIENTO

MAREA METEOROLÓGICA



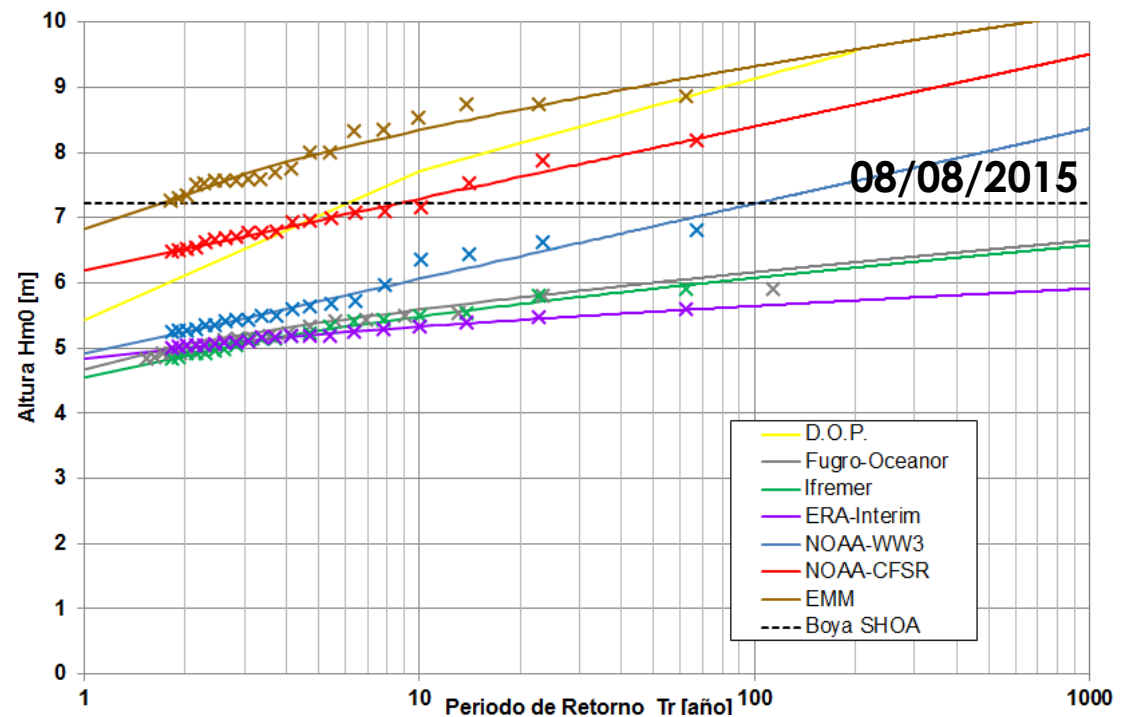
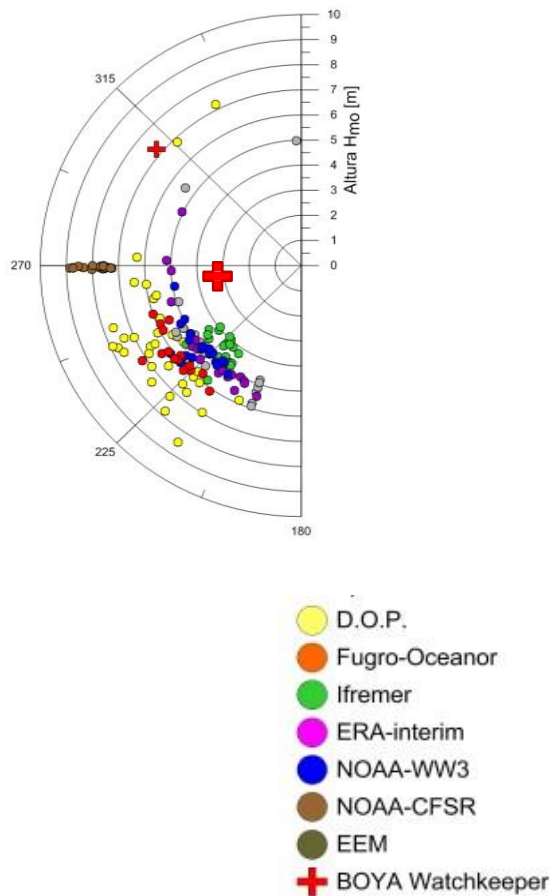
# OLEAJE


TEMPORAL 8 AGOSTO 2015



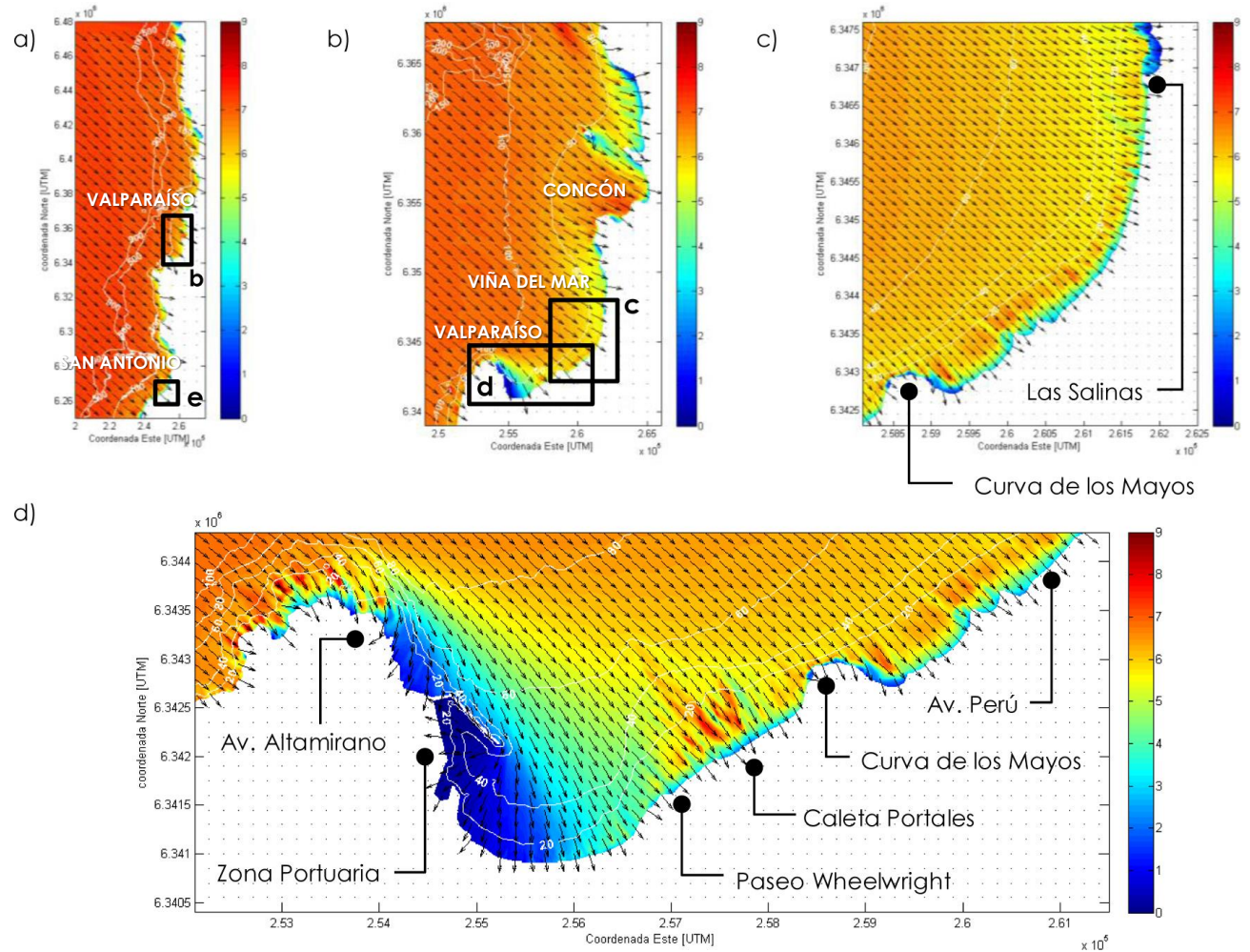
# OLEAJE

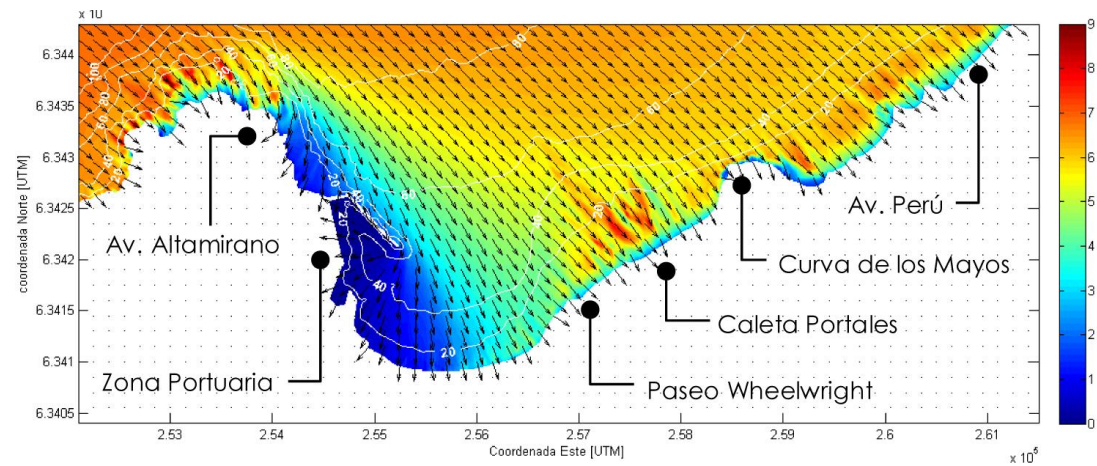
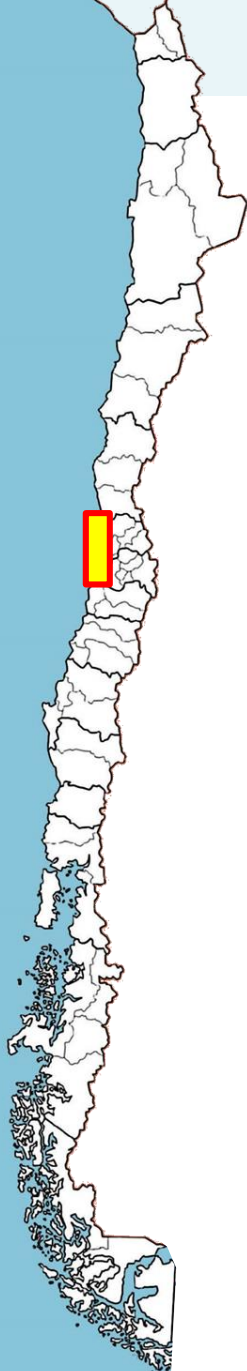
TEMPORAL 8 AGOSTO 2015




 Cuál es la  
recurrencia



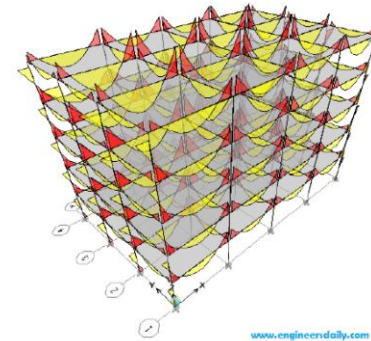
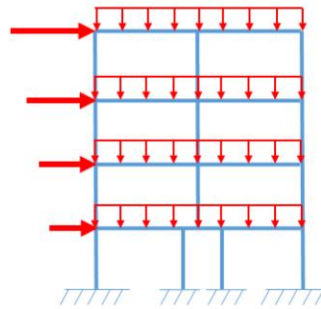
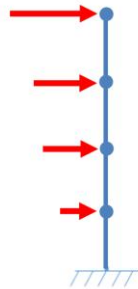






# MODELACIÓN

UNA SIMPLIFICACIÓN DE LA REALIDAD



# QUÉ APRENDIMOS?

TEMPORAL 8 AGOSTO 2015

La combinación extrema de variables oceanográficas,

**viento**, **presión atmosférica** y **oleaje**,

además de la **exposición** de la bahía de Valparaíso al noroeste, redundó en la destrucción de instalaciones portuarias, obras de protección costera y edificaciones.

**Debemos comprender la interacción entre estas variables para efectuar diseños seguros y perdurables.**



# LO QUE NOS DESVELA

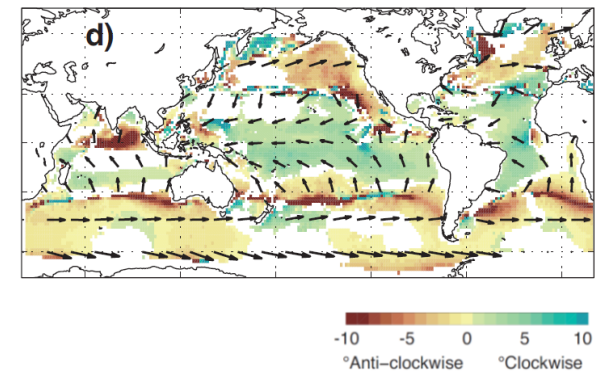
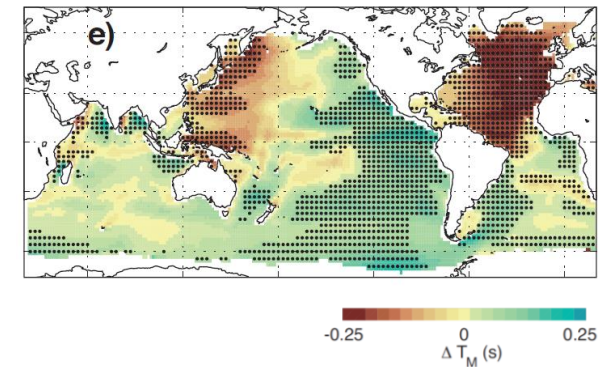
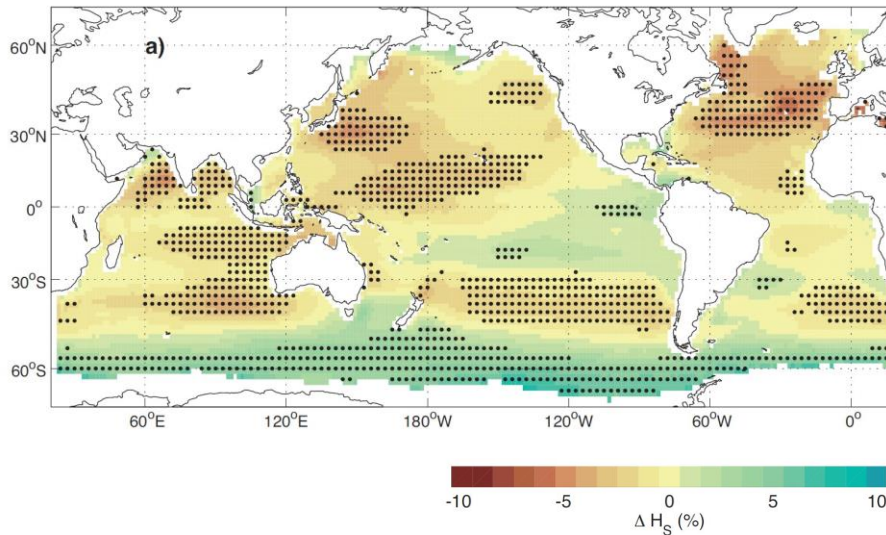
## VARIABLES METEO-OCEANOGRÁFICAS





# OLEAJE

## PROYECCIONES GLOBALES (MEDIOS) AL 2070-2100

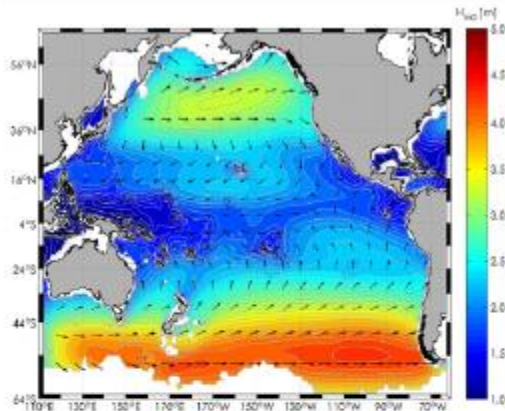


- Las **alturas** medias aumentan
- Los **períodos** medios aumentan
- La **dirección** viene más del sur

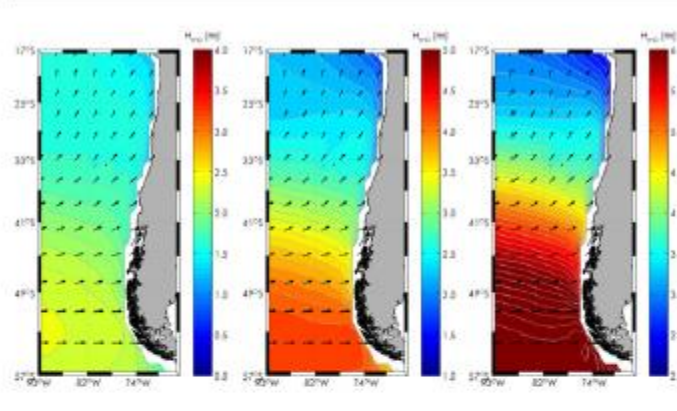
# OLEAJE

## REANÁLISIS DE CLIMA MEDIO

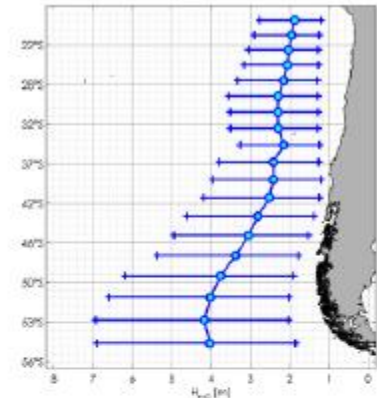
CAMPOS DE  $H_{\text{m0}}$  PROMEDIO EN EL OCEANO PACIFICO



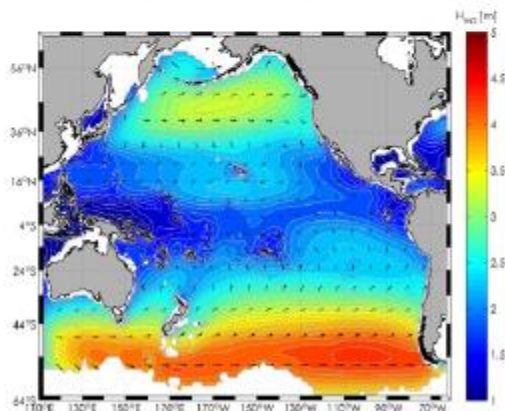
CAMPOS DE  $H_{\text{m0}}$  PROMEDIO EN LA COSTA CHILENA (percentil 5, promedio y percentil 95)



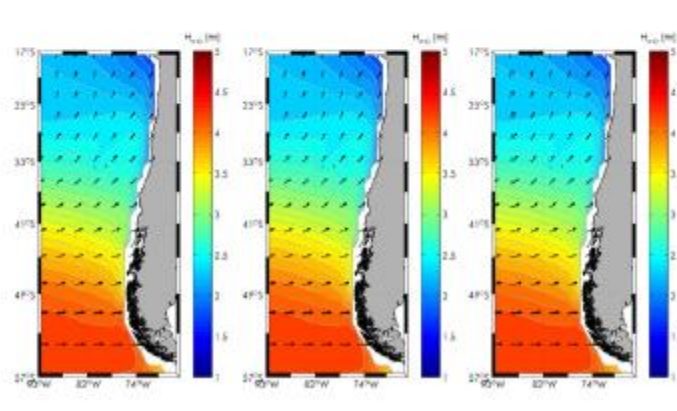
VARIACIÓN LATITUDINAL DE  $H_{\text{m0}}$



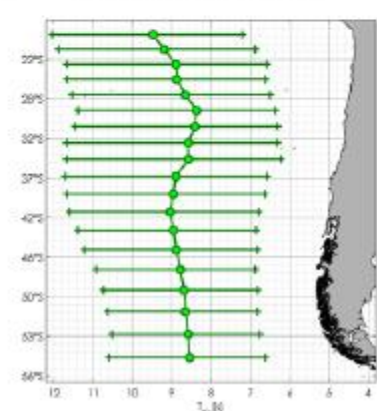
CAMPOS DE  $T_{\text{m}}$  PROMEDIO EN EL OCEANO PACIFICO



CAMPOS DE  $T_{\text{m}}$  PROMEDIO EN LA COSTA CHILENA (percentil 5, promedio y percentil 95)

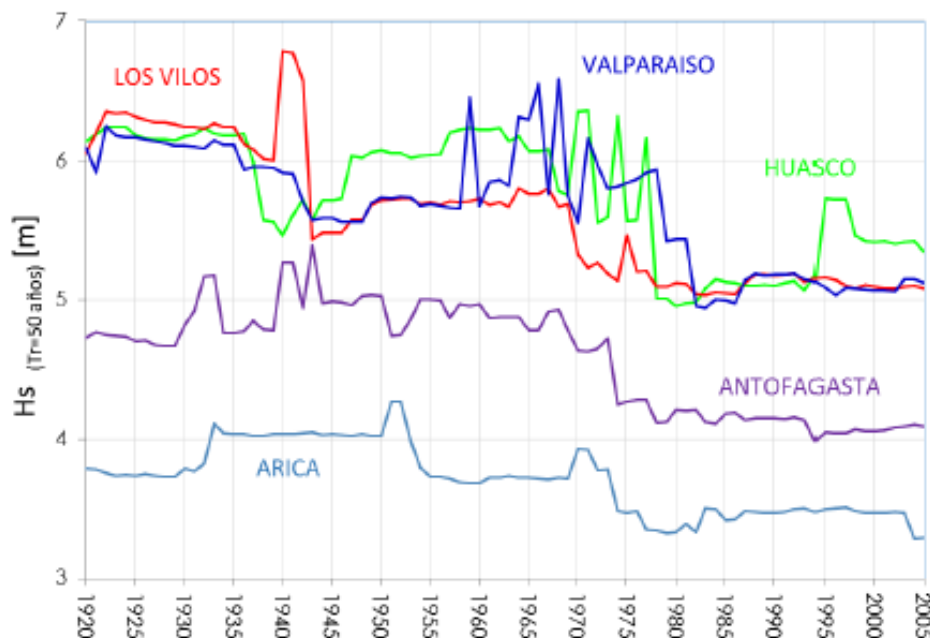


VARIACIÓN LATITUDINAL DE  $T_{\text{m}}$



# OLEAJE

## REANÁLISIS DE CLIMA EXTREMO



MODELOS	Naturaleza Modelo	Histórico	Medio Siglo	Final de Siglo	Resolución
CSIRO C <sup>10</sup>	Derivados de MCG	1979-2005	2026-2045	2081-2100 <sup>11</sup>	3 hr
ERA20C	Reanálisis	1900-2005	—	—	6 hr
ATLAS	Hindcast ATLAS	1980-2015	—	—	3 hr

Miremos  
hacia atrás!



## ANÁLISIS NO ESTACIONARIO

ERA20C: modelo de reanálisis global(1900-2005)

Desarrollado por ECMWF.

Resolución 1° y 3 hrs.

Ventana móvil de 20 años, se desplaza cada 1 año hasta llegar al año 2005. obteniendo altura significativ para 50 años de periodo de retorno

<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/era20c-daily/levtype=sfc/type=an/>

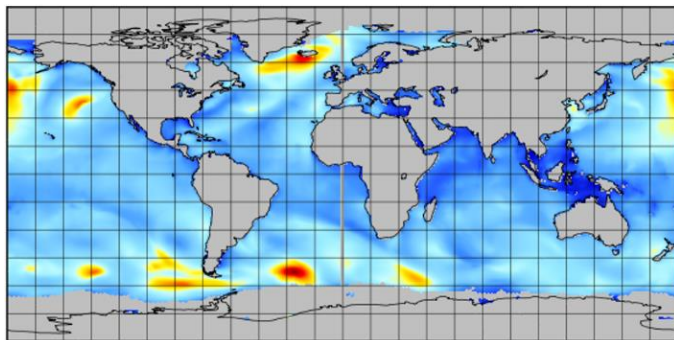


# COSTO ECONÓMICO

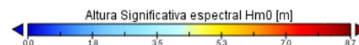
DAÑOS OBSERVADOS v/s VARIABLES OCEANOGRÁFICAS



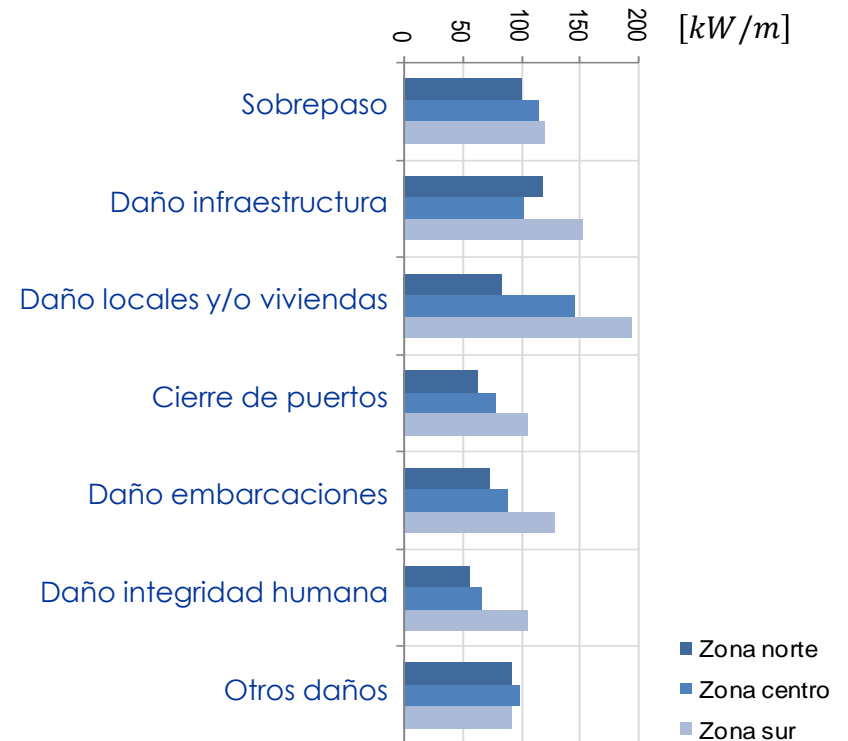
1823 - 1979



1979 - 2015

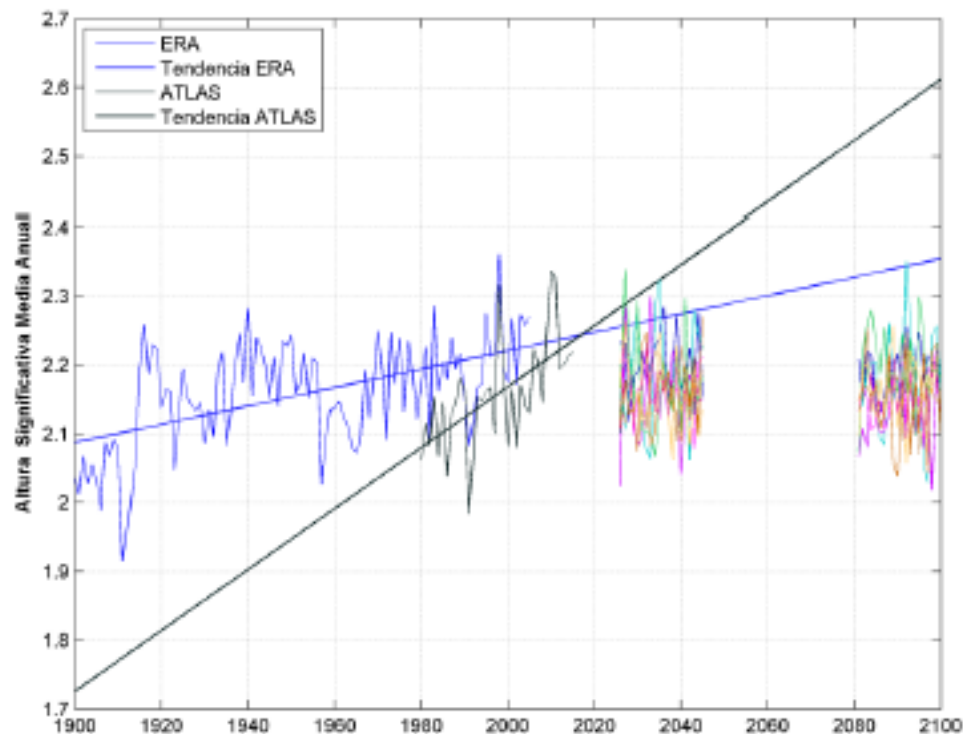


$$P \propto H^2 T$$



# OLEAJE

## PROYECCIONES CLIMA EXTREMO



Serie temporal 1900-2100 para el sitio  $[-26.5, -71.5]$ , con corrección por sesgo del modelo ERA20C y CSIRO\_C respecto al modelo referencial ATLAS.

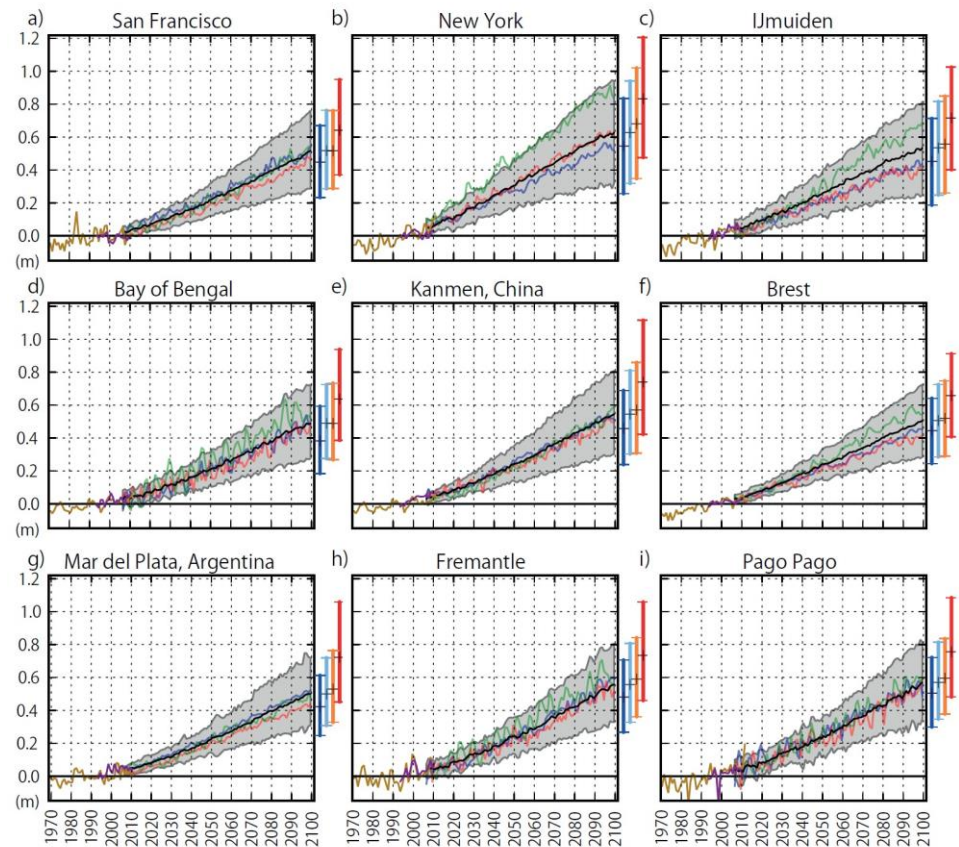
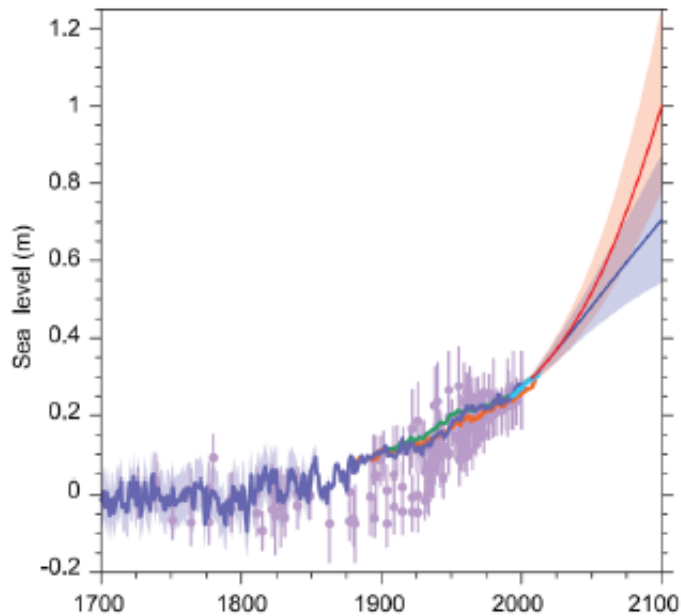
**Miremos  
adelante !**

MODELOS	Naturaleza Modelo	Histórico	Medio Siglo	Final de Siglo	Resolución
CSIRO C <sup>10</sup>	Derivados de MCG	1979-2005	2026-2045	2081-2100 <sup>11</sup>	3 hr
ERA20C	Reanálisis	1900-2005	—	—	6 hr
ATLAS	Hindcast ATLAS	1980-2015	—	—	3 hr



# NIVEL DEL MAR

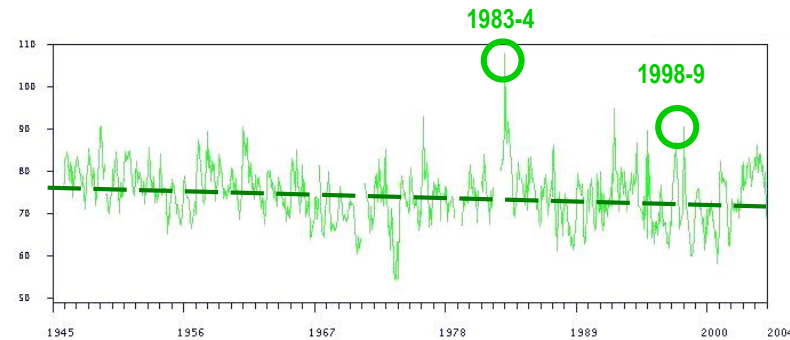
## PREDICCIONES GLOBALES



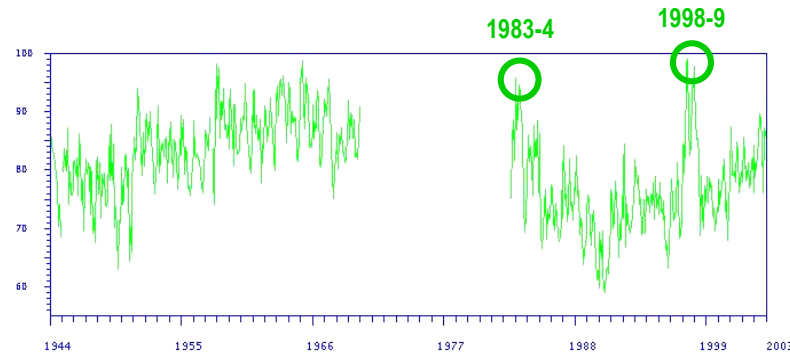




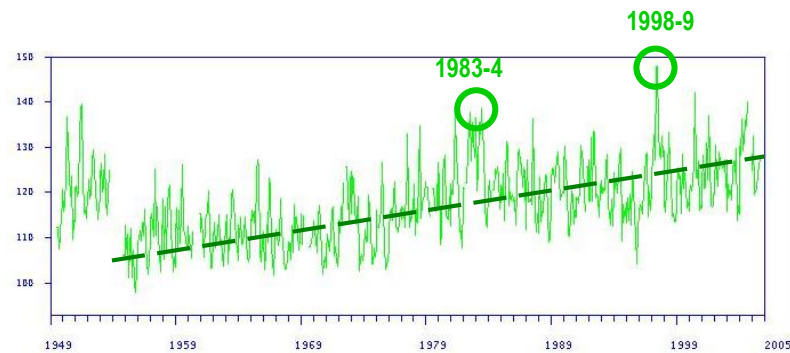
ANTOFAGASTA



VALPARAÍSO



TALCAHUANO



Localidad	Años	Variación (mm/año)
Arica	59	- 1,4
Antofagasta	64	- 0,9
Caldera	57	+ 1,2
Isla Pascua	51	+ 3,2
Valparaíso	65	+ 0,1
Talcahuano	60	+ 1,5
Pto. Williams	40	+ 2,2

ENOS

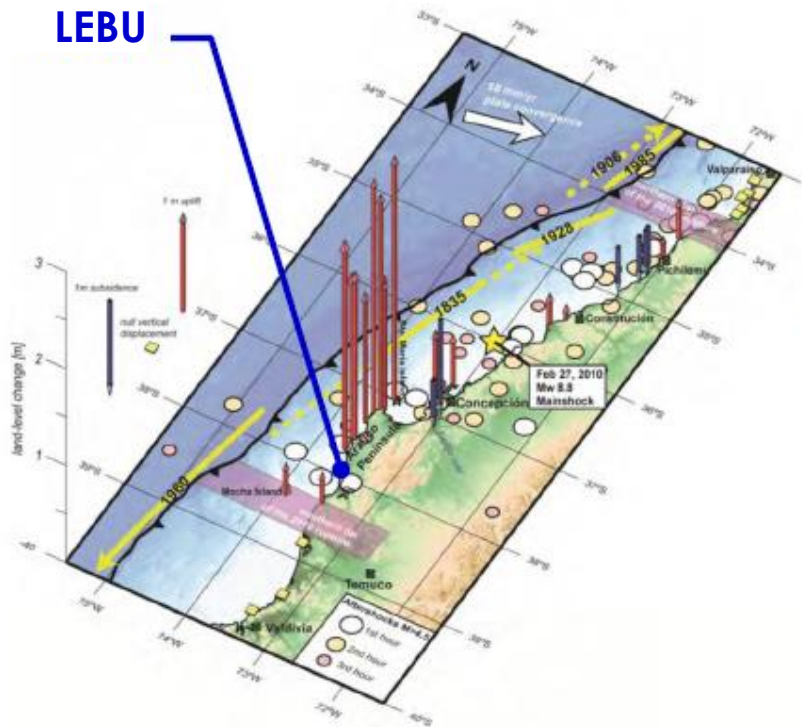


# NIVEL DEL MAR

## EFFECTOS TECTÓNICOS

CHILE  
Febrero 27

2010



SISMOS

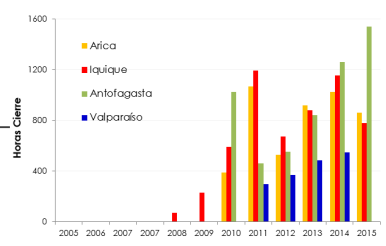
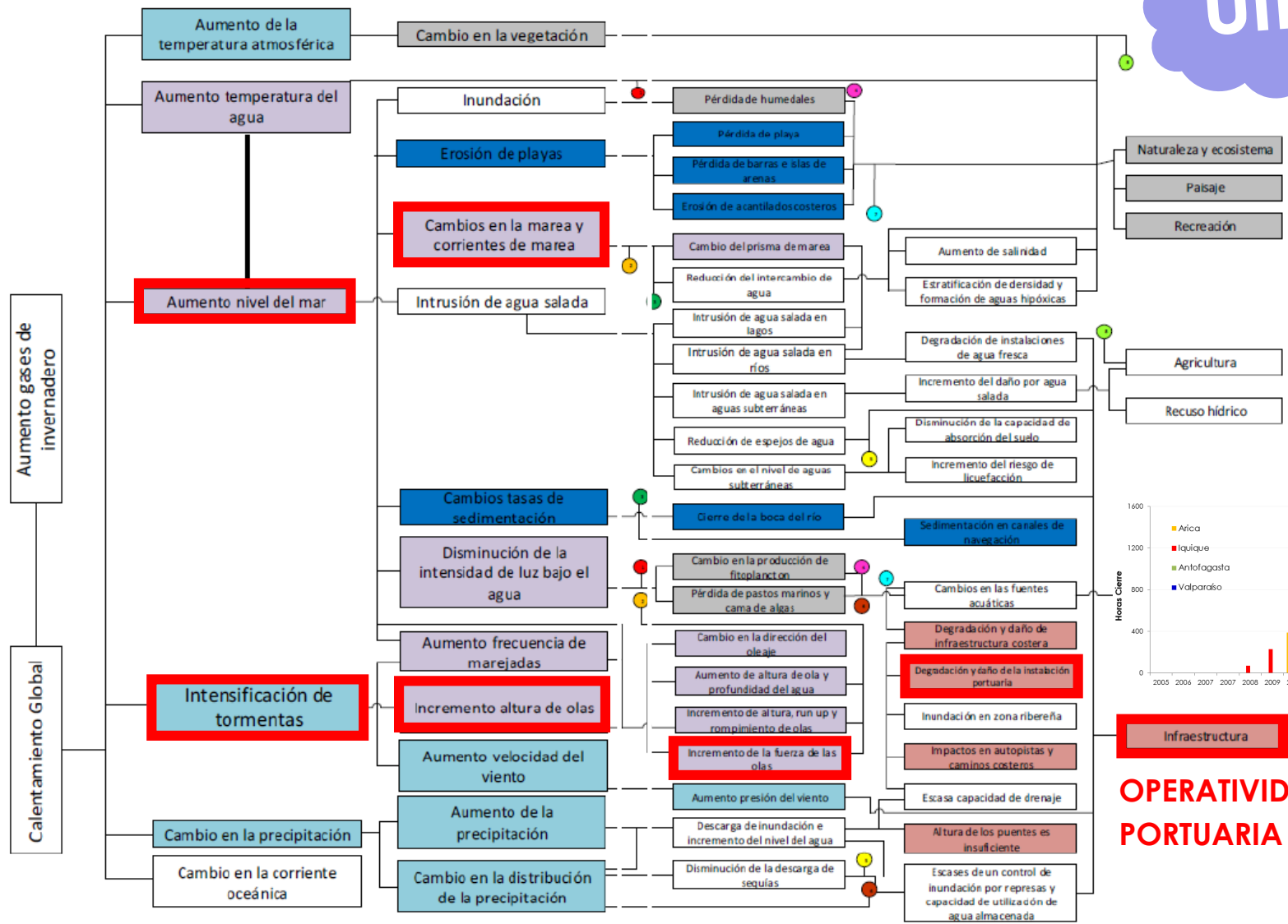


# ADAPTACIÓN

## ANTE AMENAZAS METEO-OCEANOGRÁFICAS







**OPERATIVIDAD PORTUARIA**

# MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

(ALGUNOS PRINCIPIOS)

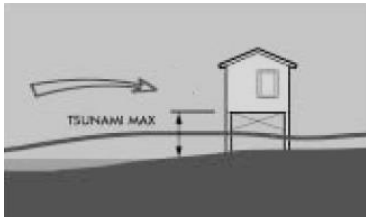
Conocer el **Riesgo**  
**amenaza**, **vulnerabilidad** y **exposición**

- **Evitar construir** en zonas vulnerables
- Reubicar **servicios críticos** y **líneas de vida** lejos de zonas de riesgo
- Diseñar **estructuras** para minimizar pérdidas
- Diseñar planes de **evacuación**
- **Educar** a la comunidad

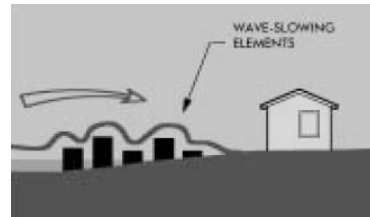
# INFRAESTRUCTURA TERRESTRE

(ALGUNAS) MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

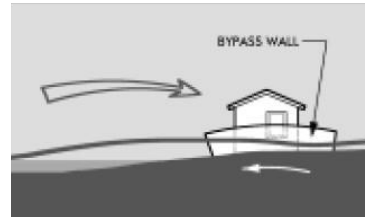
Evitar



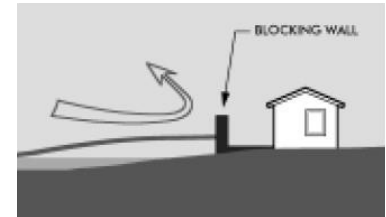
Disipar



Canalizar



Bloquear



Integración disciplinaria

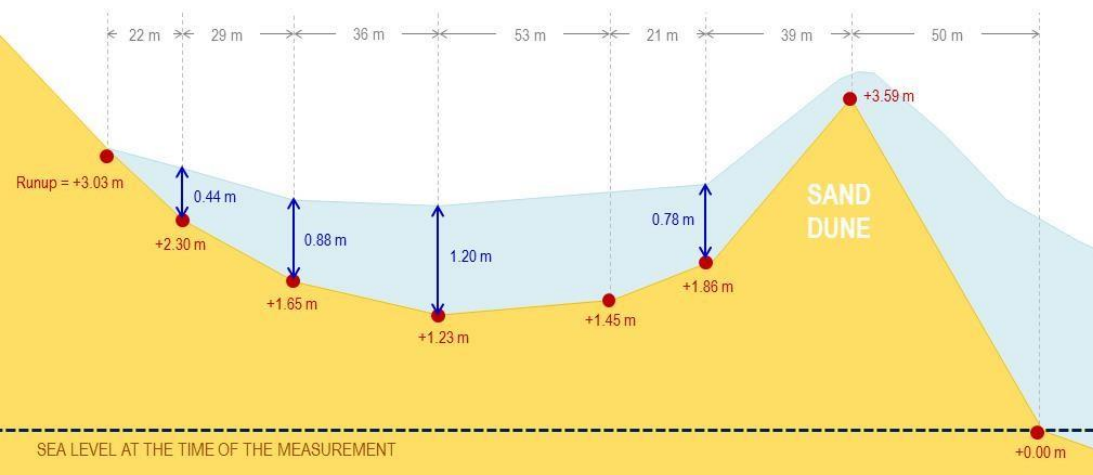
Ordenamiento  
territorial

+ Relocalizar  
Reforzar  
Norma de diseño



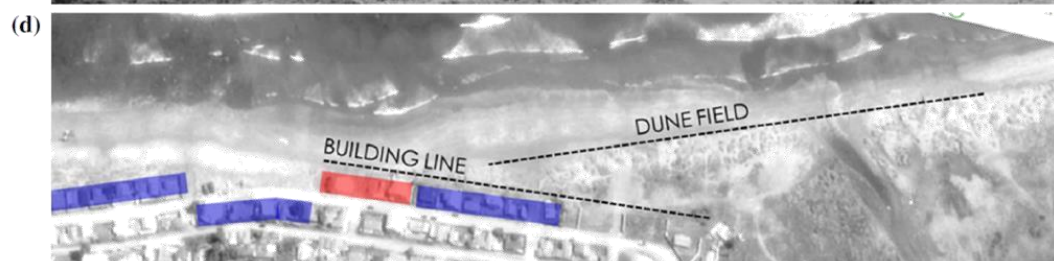
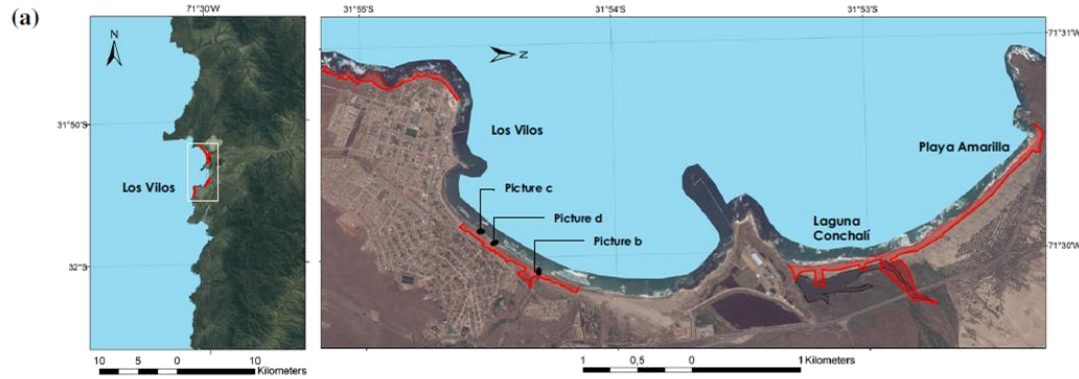


Oportunidad de  
aprendizaje !



**CHILE**  
Febrero 27

**2010**



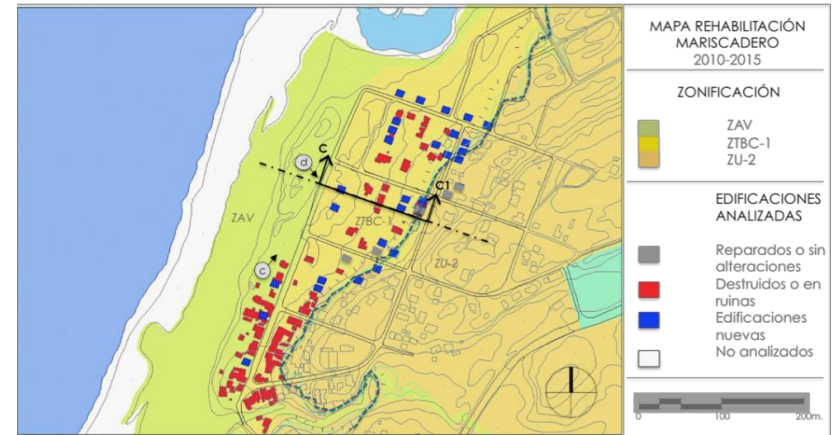
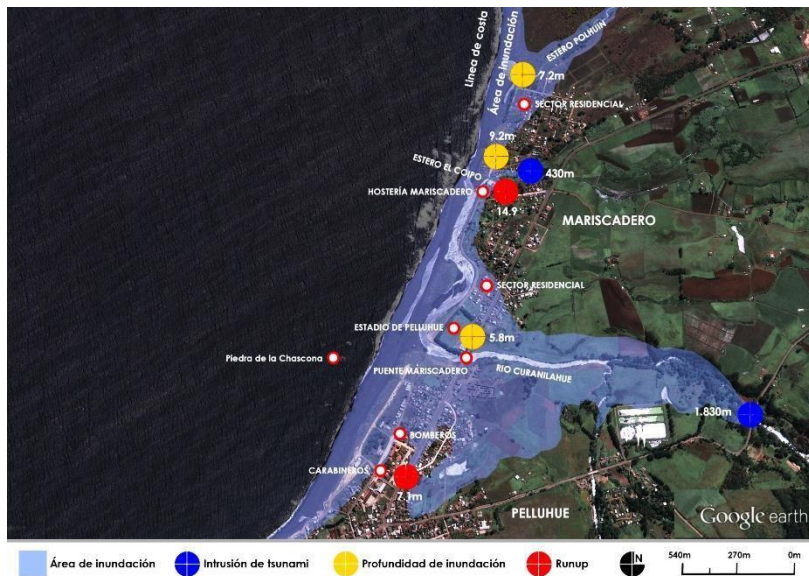
CHILE  
Septiembre 16  
**2015**



# INFRAESTRUCTURA TERRESTRE

## INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

**CHILE**  
 Febrero 27  
**2010-5**



a. Mapa Rehabilitación Mariscadero



b. Sección Sector Residencial Mariscadero



c. Sector Residencial, Marzo 2010



d. Sector Residencial, Noviembre 2015



Madera

Hormigón armado

Adobe



Palafitos



Dunas + Bosques



CHILE  
Febrero 27

2010



# Guía para la Estimación de Peligro de Tsunami

Ver. I

**SATREPS Tsunami**  
**Serie de Publicaciones Vol. I**

Proyecto de Investigación para el Mejoramiento de  
Tecnología para desarrollar una Comunidad Resiliente  
ante los Tsunamis (Proyecto SATREPS Tsunami)

Integración disciplinaria

Ordenamiento  
territorial

+

Reforzar

Relocalizar

Norma de diseño

SEBASTIÁN  
VICUÑA  
PUC



CATA  
AGUIRRE  
UV



NICOLÁS  
BAMBACH  
PUC



FERNANDA  
CORTÉS  
UPLA



MANUEL  
CONTRERAS  
UPLA



JOSE  
BEYÁ  
UV



MAURICIO  
MOLINA  
UV



HÉCTOR  
HIDALGO  
UV



ARIEL  
GALLARDO  
UV



PREGUNTAS

