

INFLUENCIA DEL MODO ANULAR AUSTRAL SOBRE EL OLEAJE INCIDENTE EN LAS COSTAS DE CHILE.

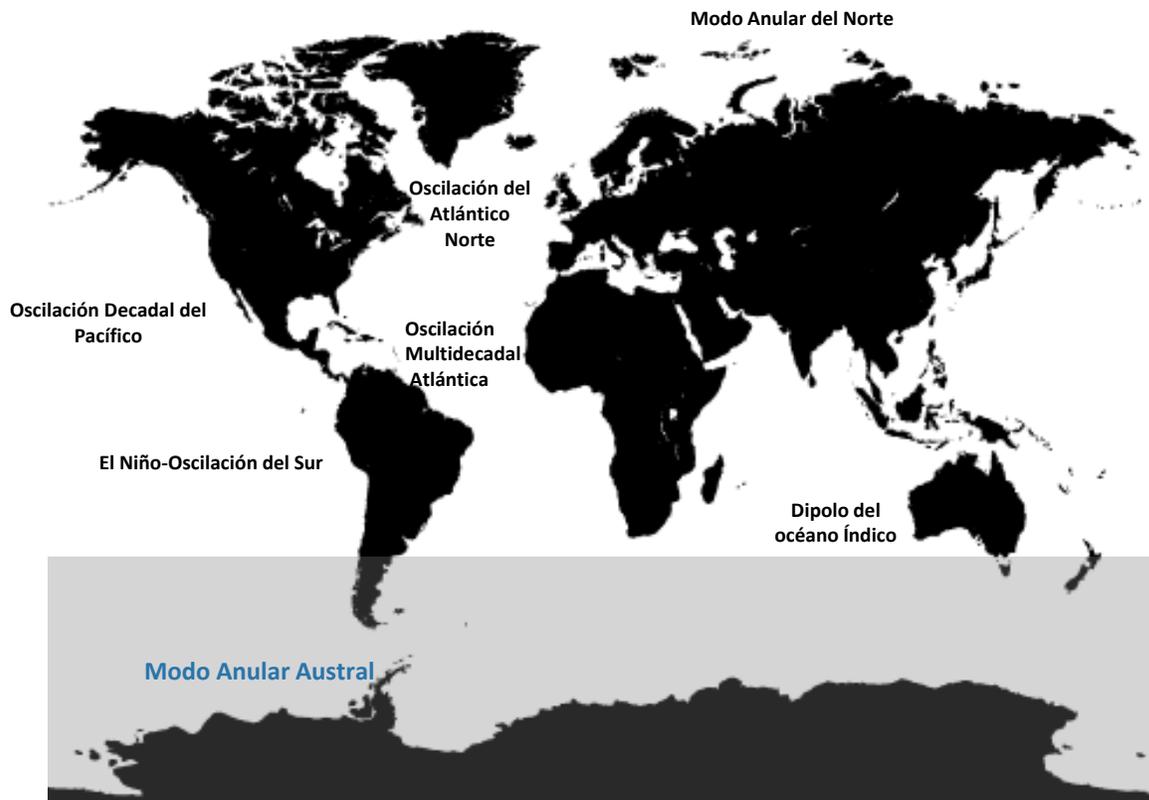


MARCELO A. GODOY APABLAZA,
Profesora guía: CATALINA. AGUIRRE GALAZ
Presentación de Memoria del proyecto para optar al Título de Ingeniero Civil Oceánico
Valparaíso, Mayo 2018

Modo de Alta Latitud (Rogers & van Loon, 1982)

Oscilación Antártica (Gong & Wang, 1999)

Modo Anular Austral (Limpasuvan & Hartmann, 1999)



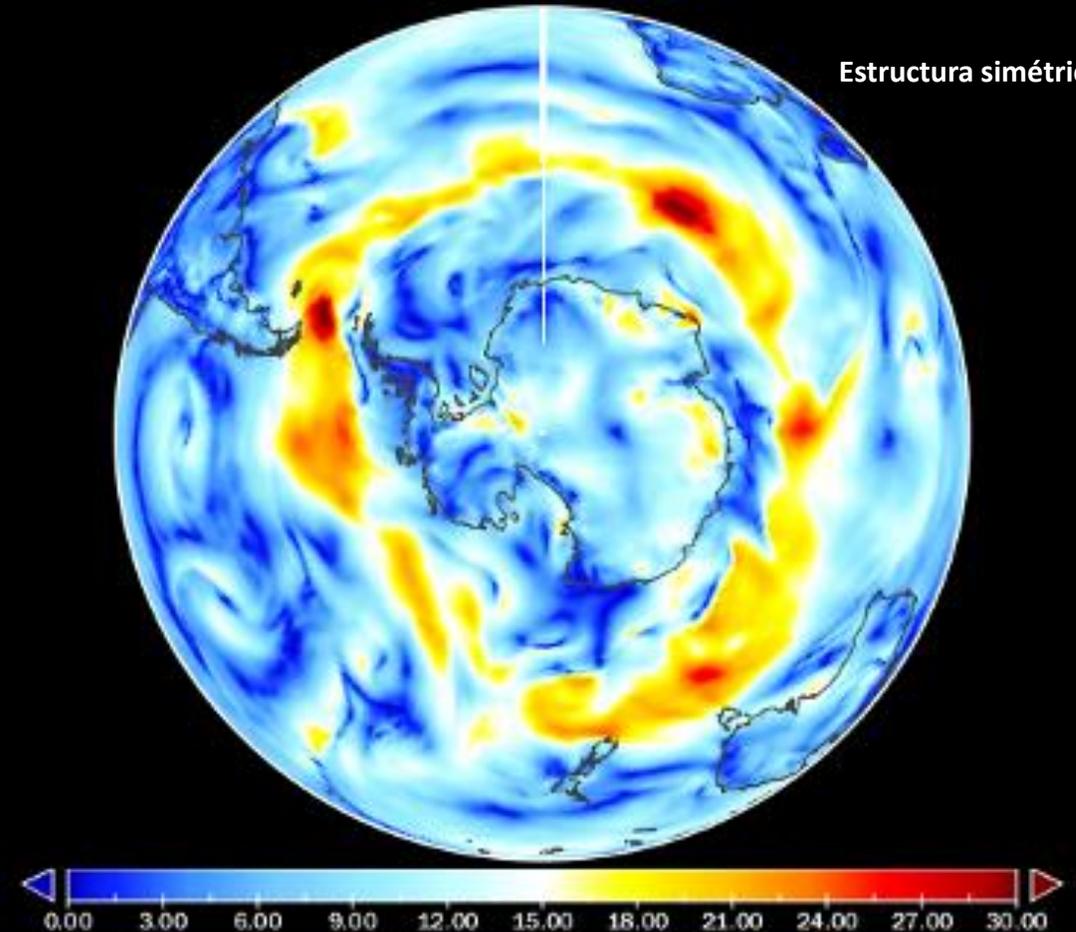
Ubicación geográfica indicadores climáticos más estudiados
(Fuente: Elaboración propia).

Juega un **papel fundamental** en la variabilidad climática del hemisferio sur
Se revela en la naturaleza en variados campos atmosféricos, como por ejemplo:

- Presión a nivel medio del mar
- Altura geopotencial
- Temperatura y viento superficial.

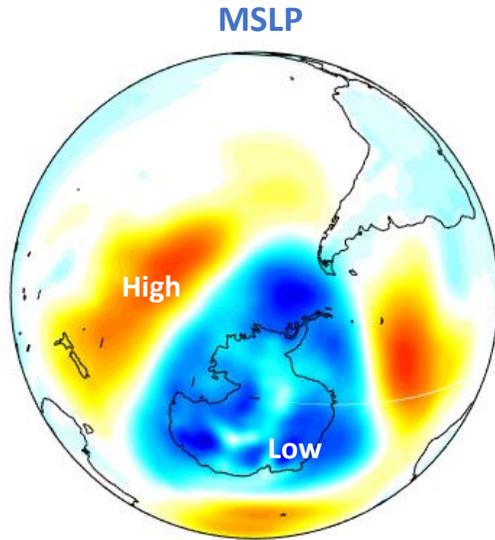
SOUTHERN ANNULAR MODE (SAM)

- Intercambio de masa atmosférica
- Desplazamiento meridional en los Vientos del Oeste
- Importante sistema de circulación global
- Principal área de generación del oleaje swell

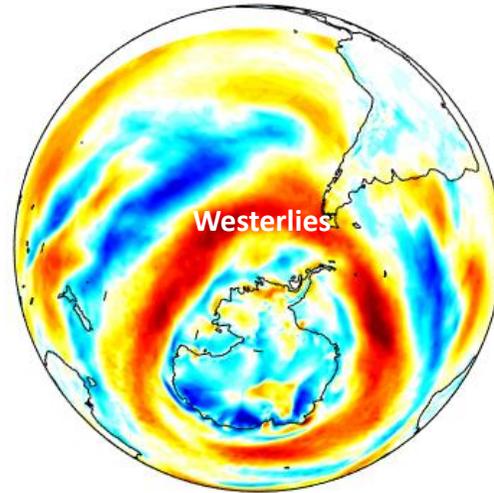


Patrón de circulación característico de los Vientos del Oestes sobre el Océano Austral (Fuente: Antarctic Westerlies by Matt Owens)

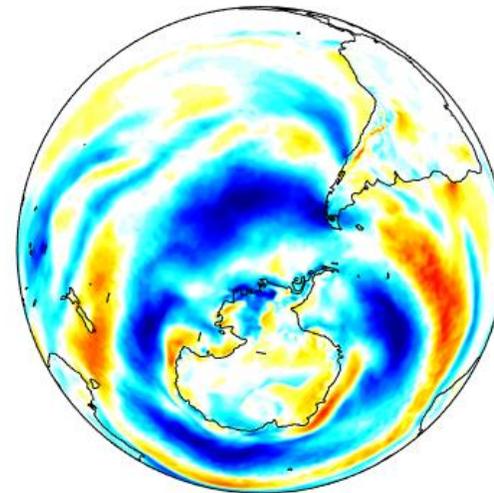
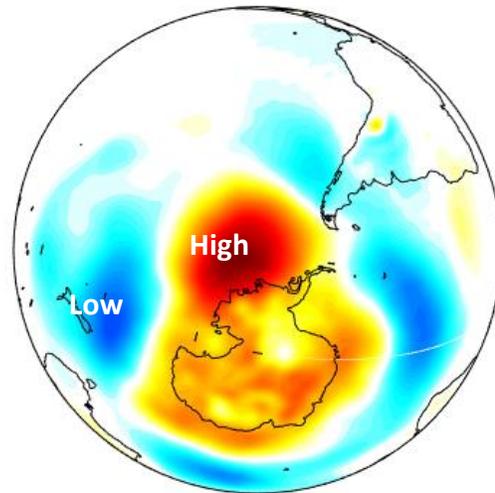
☐ FASE POSITIVA



Viento superficial



☐ FASE NEGATIVA



Patrón de circulación característico en las anomalías de MSLP (hPa) y Viento superficial (m/s)

(Fuente: Elaboración propia).

Simetría zonal con signos opuestos en las anomalías de MSLP sobre la Antártida y una banda centrada cerca 45° S de latitud.



En los últimos años los estudios enfocados en comprender la variabilidad espacial y temporal del clima de las olas en el H.S. han experimentado un notable interés debido a los impactos globales del cambio climático.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la **influencia** del Modo Anular Austral en la variabilidad interanual del oleaje incidente en la costa de Chile.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la variabilidad de los distintos parámetros del oleaje en Chile que es influenciada por el Modo Anular Austral de **forma estacional**.
- Cuantificar los efectos de Modo Anular Austral en la variabilidad del oleaje **medio** en la costa de Chile.
- Cuantificar los efectos del Modo Anular Austral en la variabilidad del oleaje **extremo** en las costas de Chile.

HIPÓTESIS

Dado que los cambios impulsados por las distintas fases del Modo Anular Austral, afectan la fuerza y posición del cinturón de los vientos del Oeste, se espera una influencia sobre el clima de las olas que se propaga hasta las costas de Chile.

NCEP Climate Forecast System Reanalysis (NCEP-CFSR) 1979-2010

- Modelo acoplado de circulación atmosférica, océano, superficie terrestre y hielo marino de alta resolución espacial, lo cual permite una mejor representación de la atmosfera en este dominio (Saha et al., 2010).

CSIRO “CAWCR WAVE HINDCAST 1979 – 2010”

- **Base de datos** espectrales y parámetros de resumen desarrollados por:
- El proyecto utilizó el Modelo espectral de olas **WaveWatch III**
- Forzado con los **vientos superficiales y las concentraciones de hielo CFSR**.
 - **Validados** utilizando datos **globales** de altimetría satelital (GEOSAT) y **regional** utilizando boyas NDBC.



The Centre for Australian Weather and Climate Research
 A partnership between CSIRO and the Bureau of Meteorology

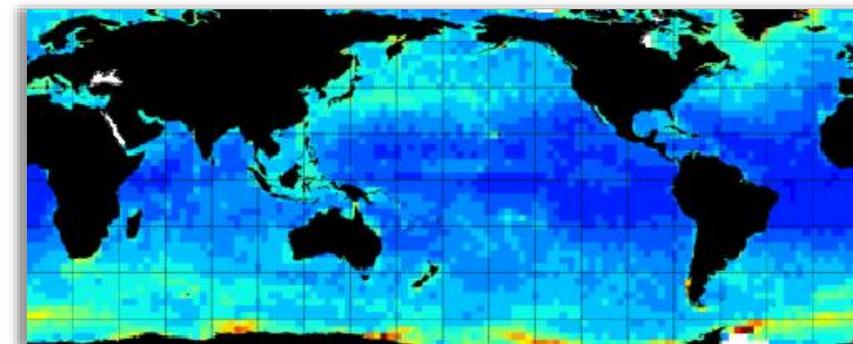
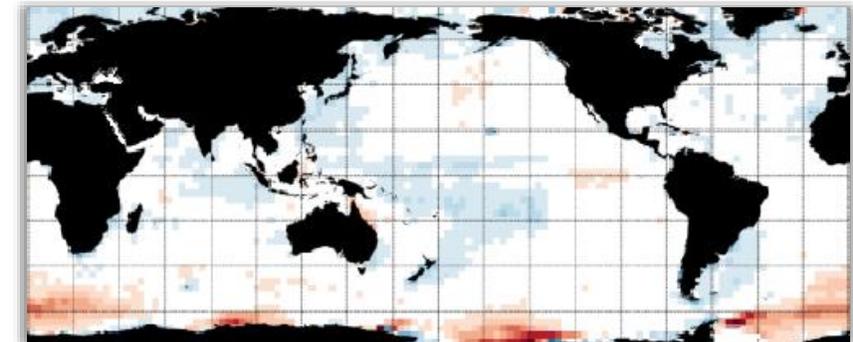


A Global Wave Hindcast focussed on the Central and South Pacific

Tom Durrant, Diana Greenslade, Mark Hemer and Claire Trenham

CAWCR Technical Report No. 070

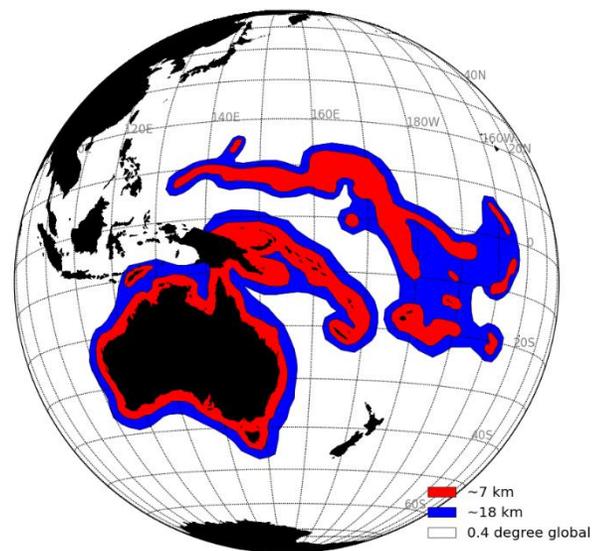
April 2014



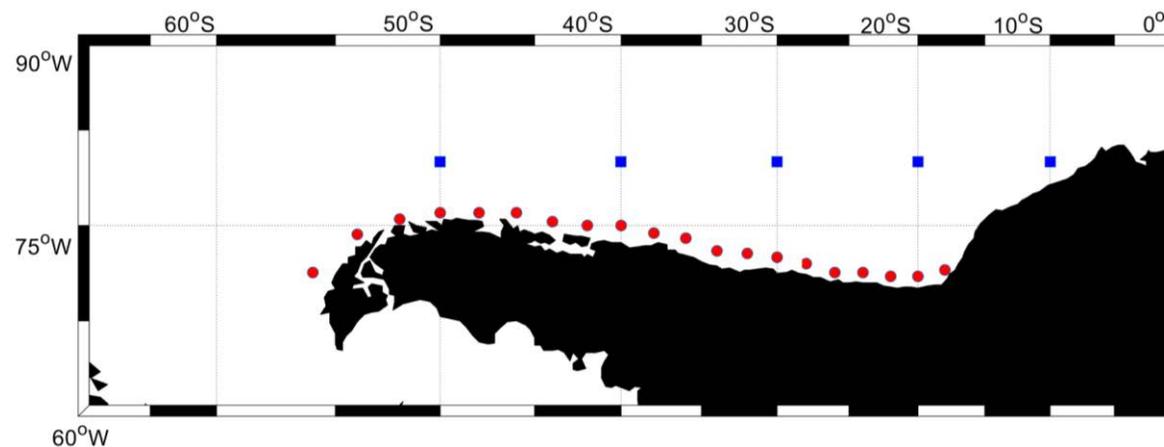
(Fuente: Durrant et al., 2014).

CSIRO “CAWCR WAVE HINDCAST 1979 – 2010”

- Descripción completa de la variabilidad espacial y temporal del clima de olas a nivel global al contener una amplia gama de datos espectrales y parámetros de resumen, siendo estos de **libre acceso!**
- Los parámetros de resumen incluyen, altura significativa (h_s), período medio (T_m), frecuencia peak del oleaje (f_p), dirección media del oleaje (dm) y dirección peak (dp). Los espectros del modelo tienen una resolución espacial constante de 10° y una densidad espectral en $[m^2 / Hz * rad]$.



Las cuadrículas de alta resolución están anidadas dentro de una cuadrícula global de $0,4^\circ$. Las áreas azules muestran regiones con una resolución de $10'$ (~ 18 km) y las áreas rojas indican resoluciones de $4'$ (~ 7 km) (Fuente: Durrant et al., 2014).



Salida de los datos espectrales frente a la costa de Chile indicada con cuadrados azules, mientras que los puntos extraídos frente a la costa aparecen con círculos rojos. (Fuente: Elaboración propia).

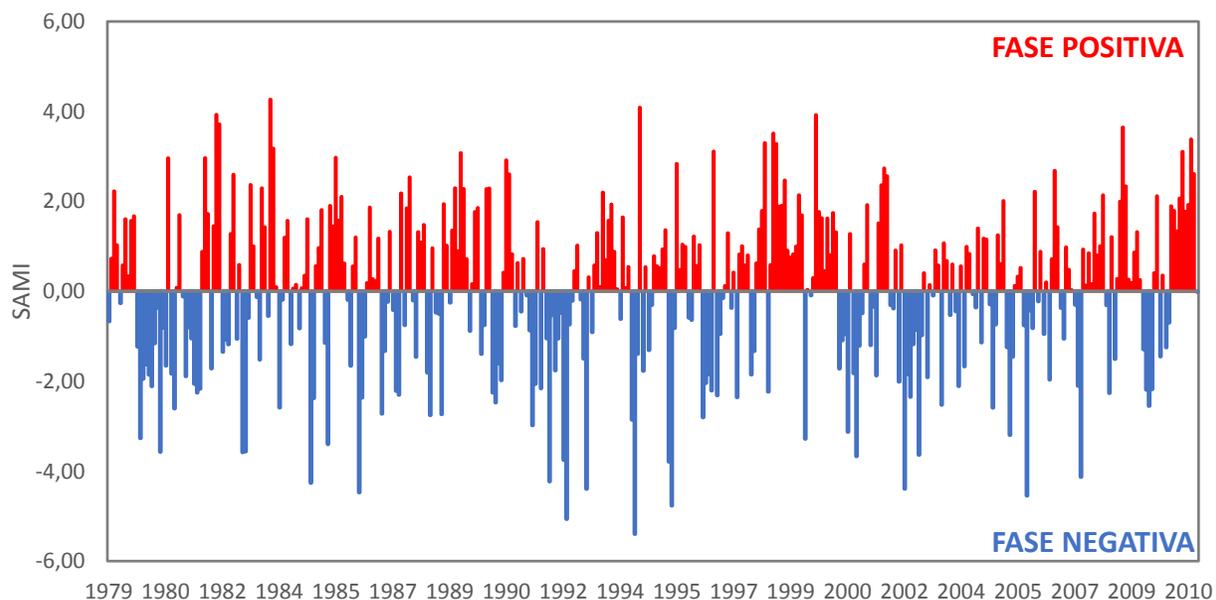
Climate Forecast System Reanalysis (NCEP CFSR)

El reanálisis es capaz de representar con una alta habilidad los vientos superficiales sobre los océanos globales, y las características del viento costero cerca de la costa oeste de Sudamérica (Rahn & Garreaud, 2013).

ALTIMETRÍA SATELITAL

Datos satelitales de altura significativa del oleaje de Radar Altimeter Database System (RADS) desarrollados por la universidad tecnológica de Delft (Scharroo et al., 2013).

INDICE SAM (SAMI)



Valores mensuales del índice de SAM calculado a partir de la MSLP del reanálisis CFSR.

(Fuente: Elaboración propia).

Entender los cambios SAM y su **conexión** con el clima de las olas: Definición propuesta por **Gong y Wang (1999)** a partir de los **promedios mensuales de MSLP** del NCEP CFSR.

$$SAMI = P^*_{40^{\circ}S} - P^*_{65^{\circ}S}$$

El índice se calcula como la diferencia del **promedio zonal de la MSLP** entre las latitudes 40°S y 65°S , siendo **normalizado en una desviación estándar**

El índice obtenido es **comparado** con el índice SAM de Marshall.

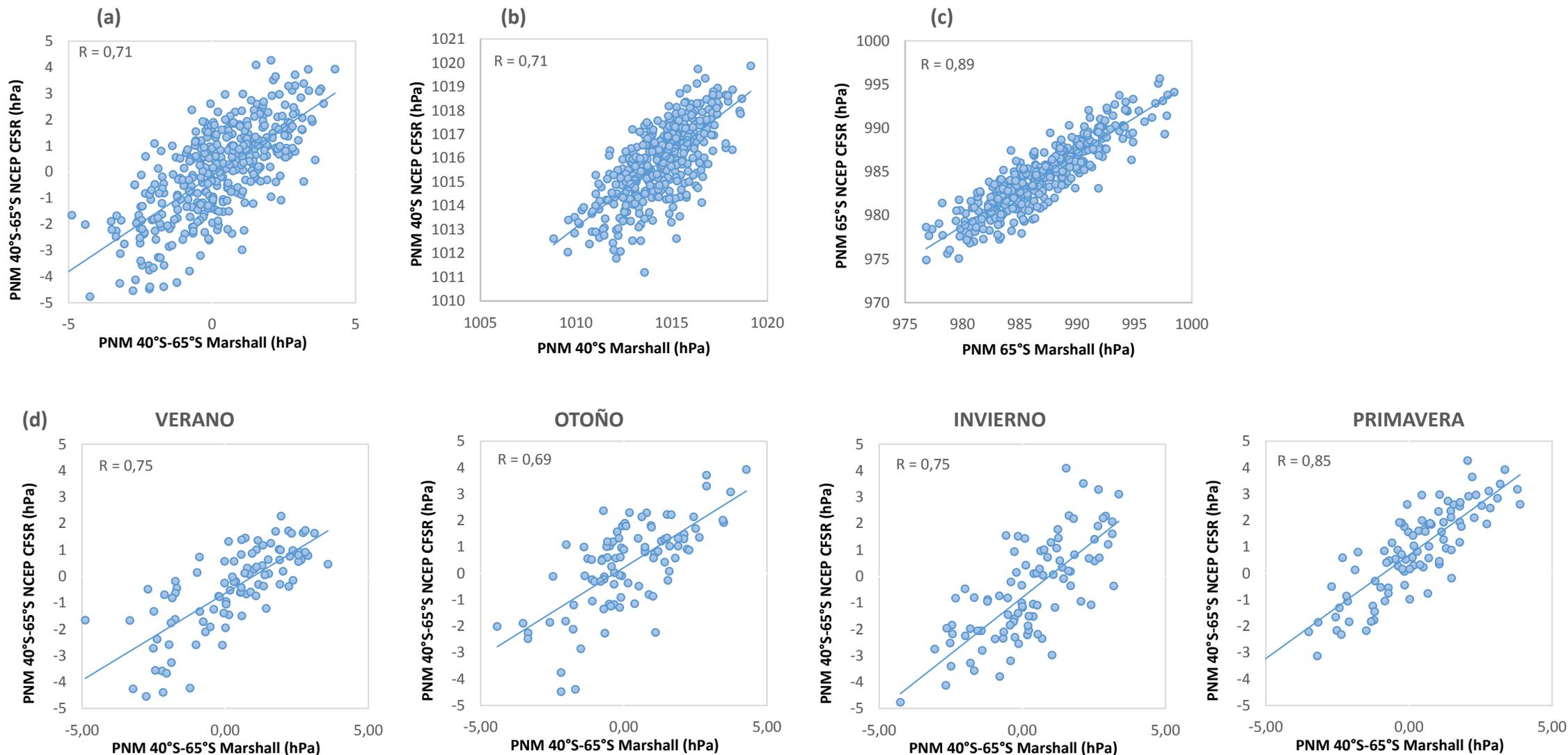
CLIMA MEDIO

- Análisis de Correlación cruzada (95% nivel de confianza)
- Análisis de Compuesto 
 - SAMI > SAMI80%
 - SAMI < SAMI20%
- Cálculos de Potencia del oleaje en cada fase, las cuales fueron restadas, y divididas por el promedio estacional para explicar la variación porcentual en la potencia del oleaje debido a la influencia de esta oscilación climática.

CAMPOS ATMOSFÉRICOS, PARÁMETROS DE RESUMEN Y DATOS ESPECTRALES.

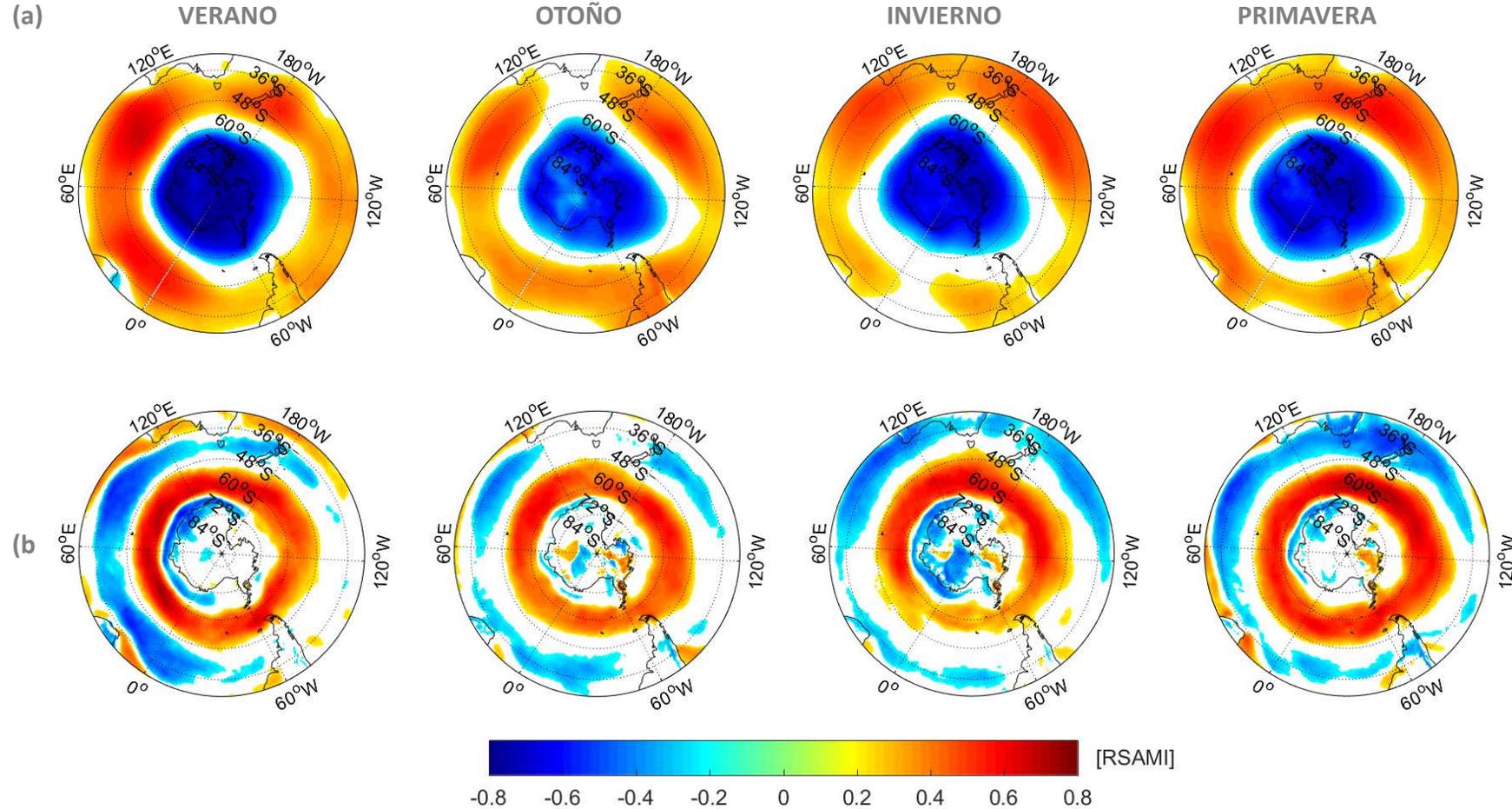
CLIMA EXTREMO

- Modelo estadístico basado en la Distribución de Valores Extremos no Generalizada (GEV) siguiendo estudios previos (como por ejemplo, Izaguirre et al., 2011; Kumar et al., 2016)
- Caracterización detallada del oleaje frente a las costas de Chile
- Software “Cyclone tracking scheme” versión (L1.1A) 2009
 - Desarrollado e implementado por Murray y Simmonds (1999) de la Universidad de Melbourne.

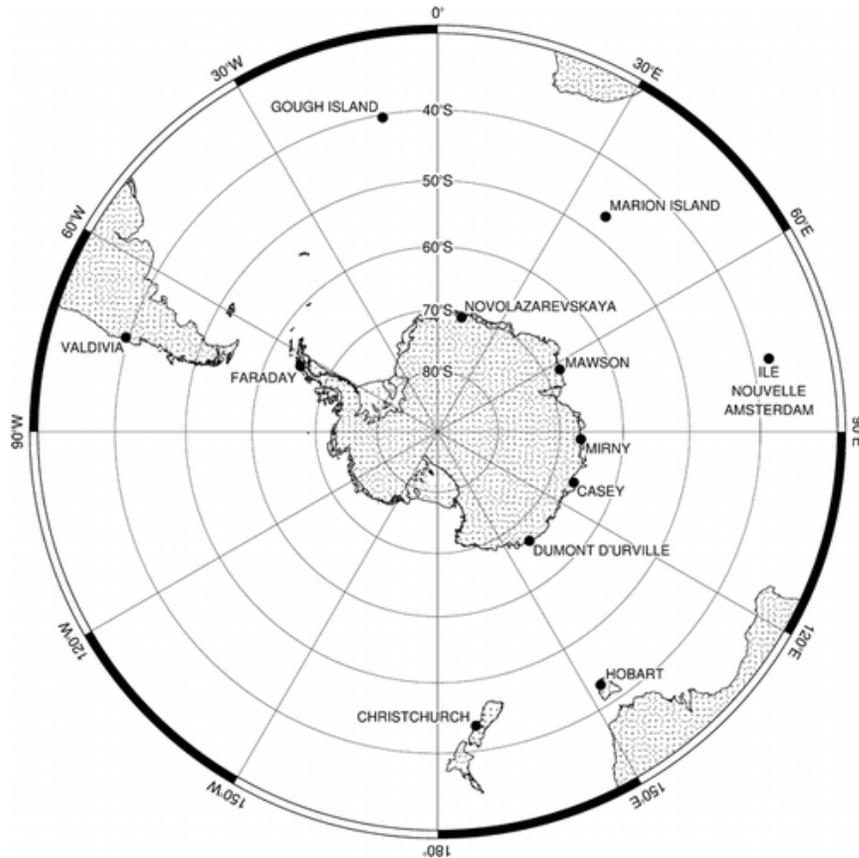


Correlación mensual índice SAM (a) obtenido con NCEP CFSR y el índice de Marshall, Correlación mensual por banda zonal a los (b) 40° y (c) 65°S, (d) Correlación estacional del índice SAM (Fuente: Elaboración propia).

PARAMETROS ATMOSFÉRICOS



Mapa de correlación estacional entre las anomalías mensuales de (a) PNM, (b) Viento superficial y el índice SAM. Correlación positiva o negativa con un 95% de confianza (Fuente: Elaboración propia).



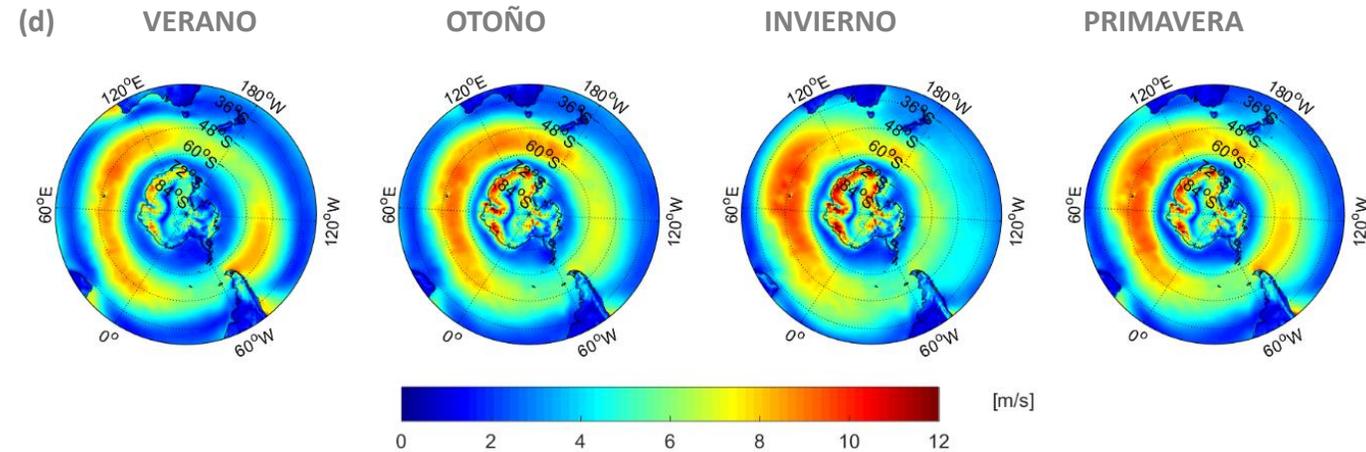
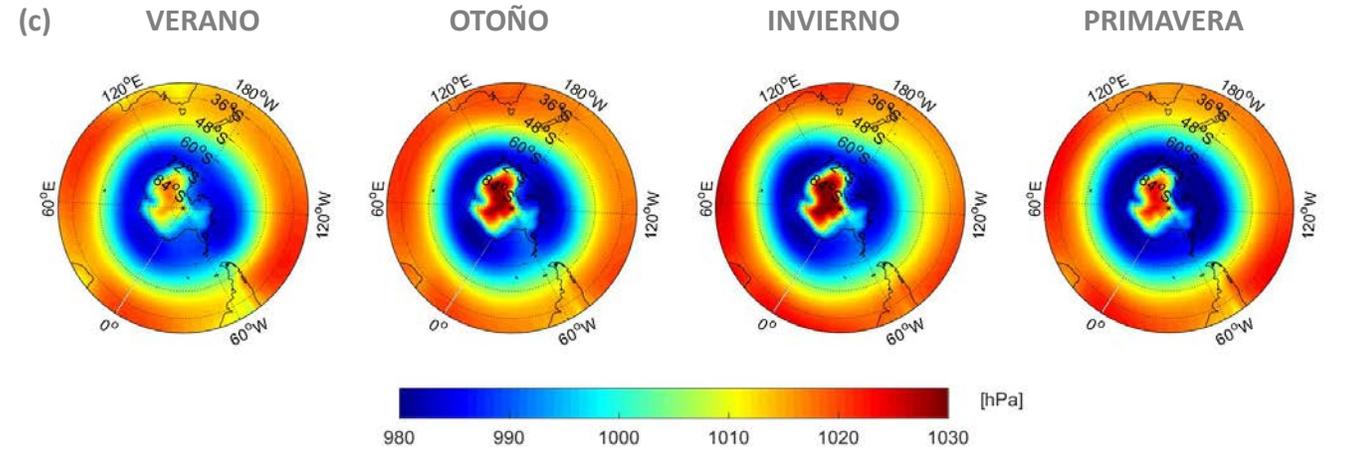
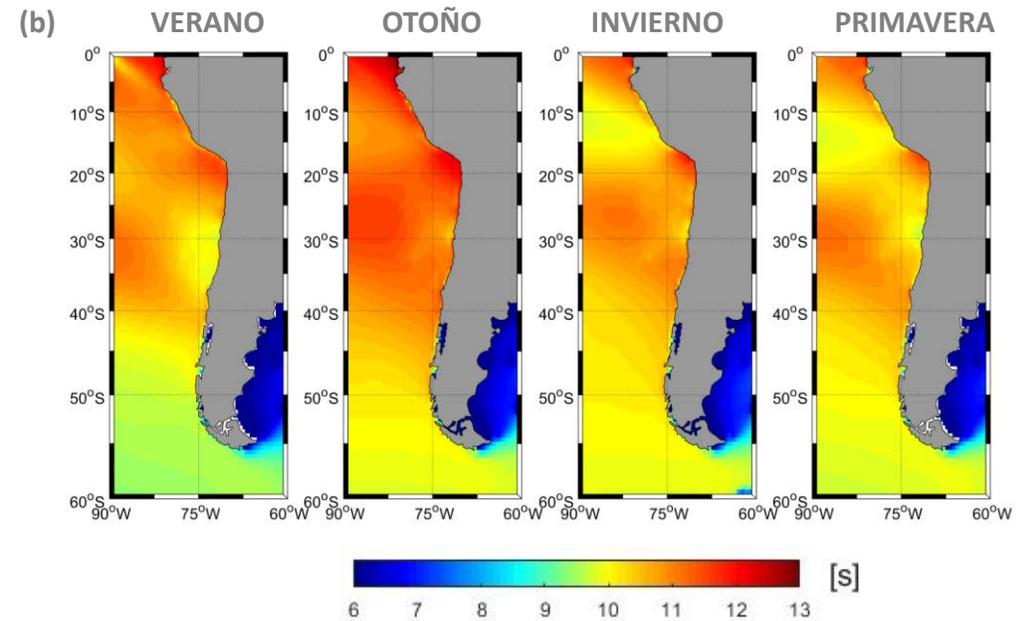
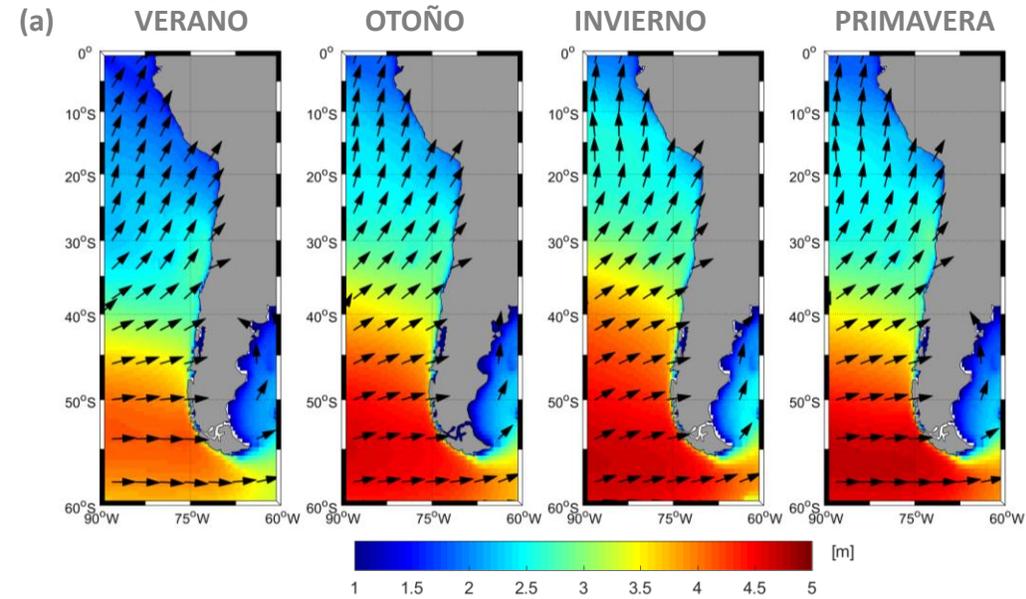
Estaciones utilizadas para calcular el promedio zonal a 40 ° y 65 ° S

PUNTOS FUERTES:

- Basado en un número fijo de estaciones
- Evita falsas tendencias en los reanálisis atmosféricos

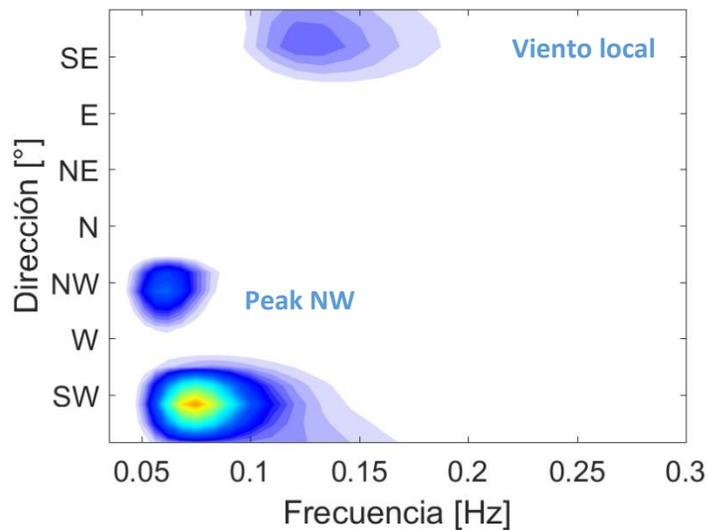
LIMITACIONES CLAVE:

- Se basa en pocos puntos espaciados desigualmente para describir un modo de variabilidad climática a escala hemisférica
- Posibilidad de perder algo de variabilidad, especialmente en el Pacífico Sur, debido a la falta de ubicaciones insulares apropiadas y a la inaccesibilidad a sitios potenciales a estas latitudes.

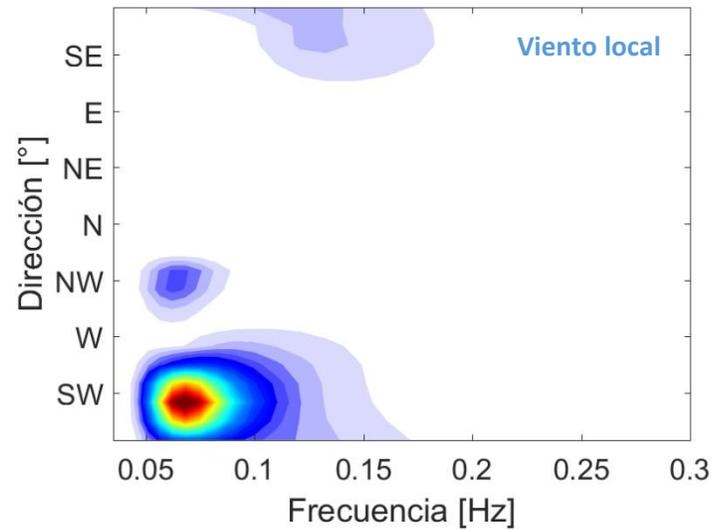


Climatología estacional de (a) h_s y (b) T_m utilizando "CAWCR Wave Hindcast 1979-2010".
 Los vectores muestran la dm del oleaje. Climatología de PNM (c) y Viento superficial (d) utilizando NCEP CFSR. (Fuente: Elaboración propia).

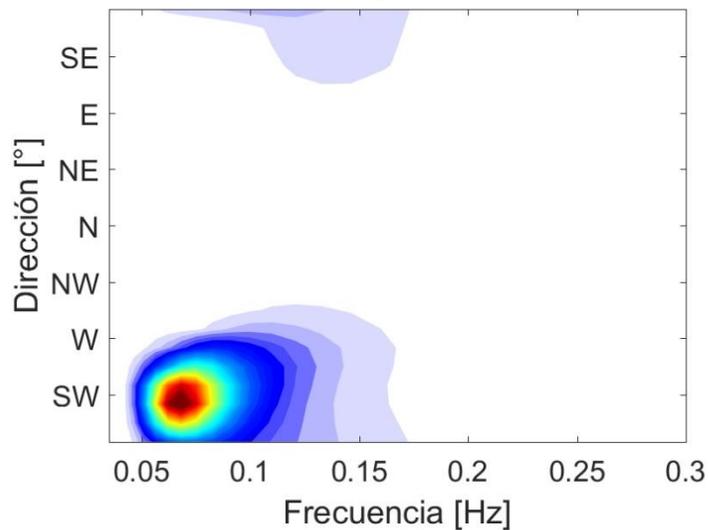
VERANO



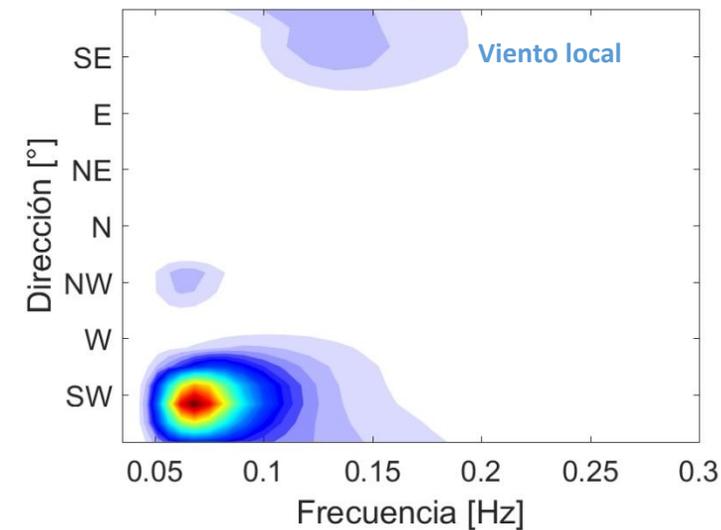
OTOÑO



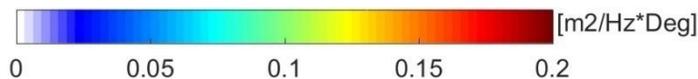
INVIERNO



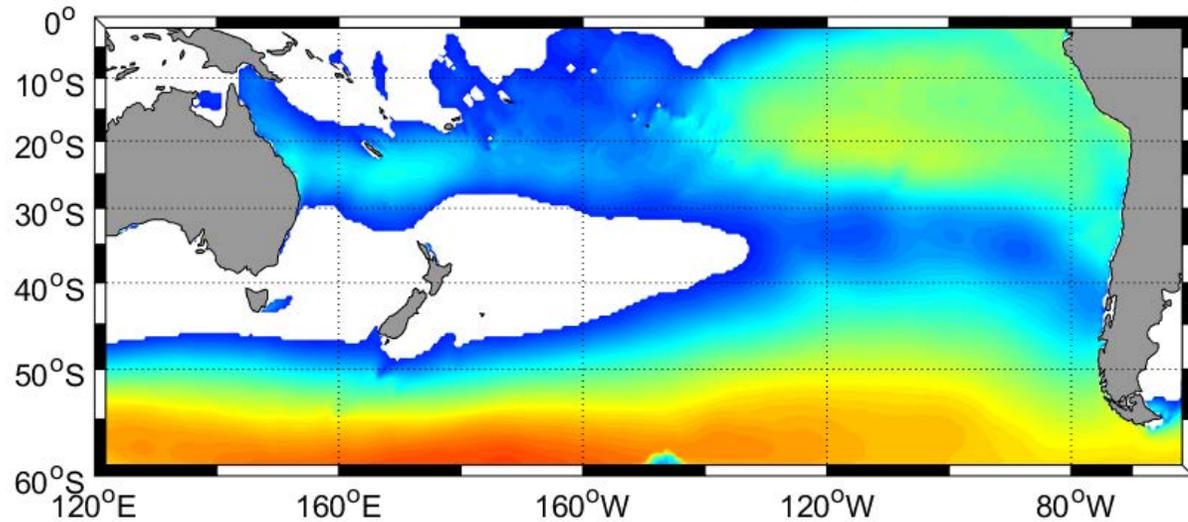
PRIMAVERA



Representa la **distribución de la energía** en el **dominio de la frecuencia y dirección**, donde los **máximos de energía** se encuentran asociado a oleaje de distintas zonas generación.



Correlación entre las anomalías de H_s y el Índice SAM

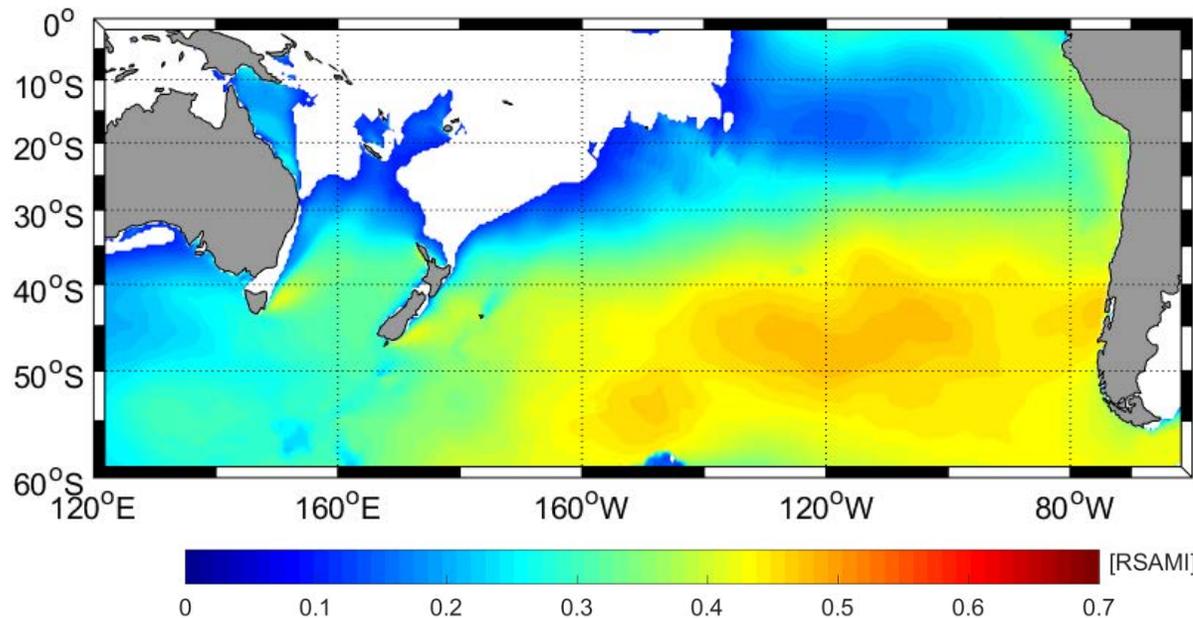


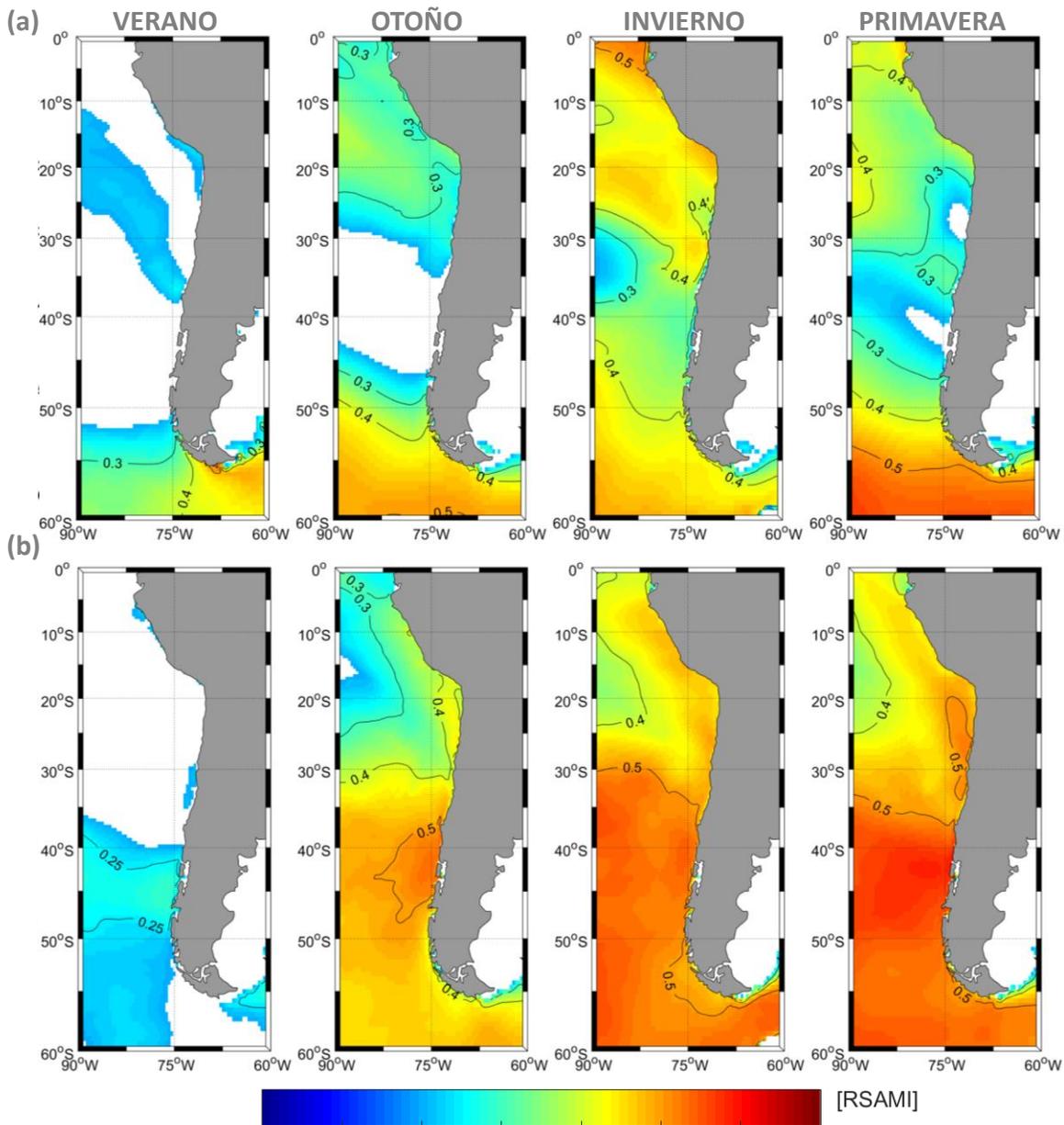
Correlación se extiende incluso hacia latitudes medias y muy al norte, debido a la propagación del oleaje swell desde el océano Austral. Demostrando que el oleaje generado en el océano Antártico, muestran una correlación positiva con el SAM debido a la contracción e intensidad en los vientos del Oeste.

$$P \sim \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 * T_m$$

Patrón climático importante al establecer el **potencial desarrollo energético undimotriz** frente a las costas de Chile.

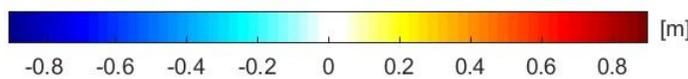
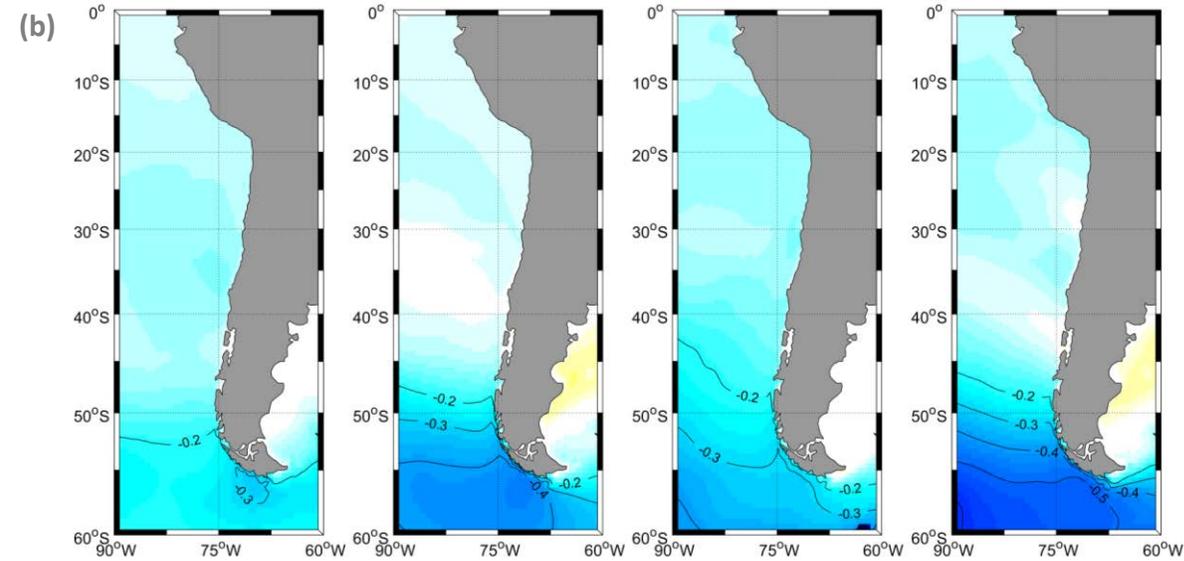
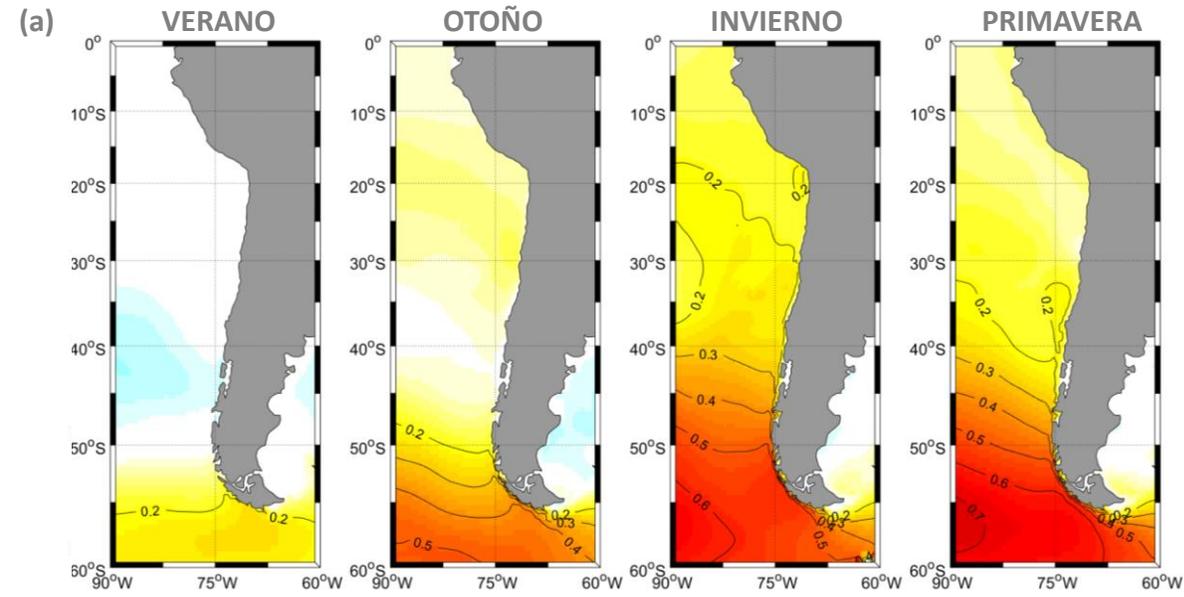
Correlación entre las anomalías de T_m y el Índice SAM



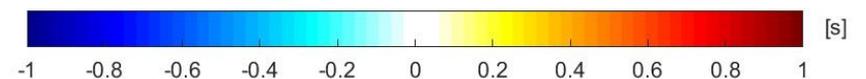
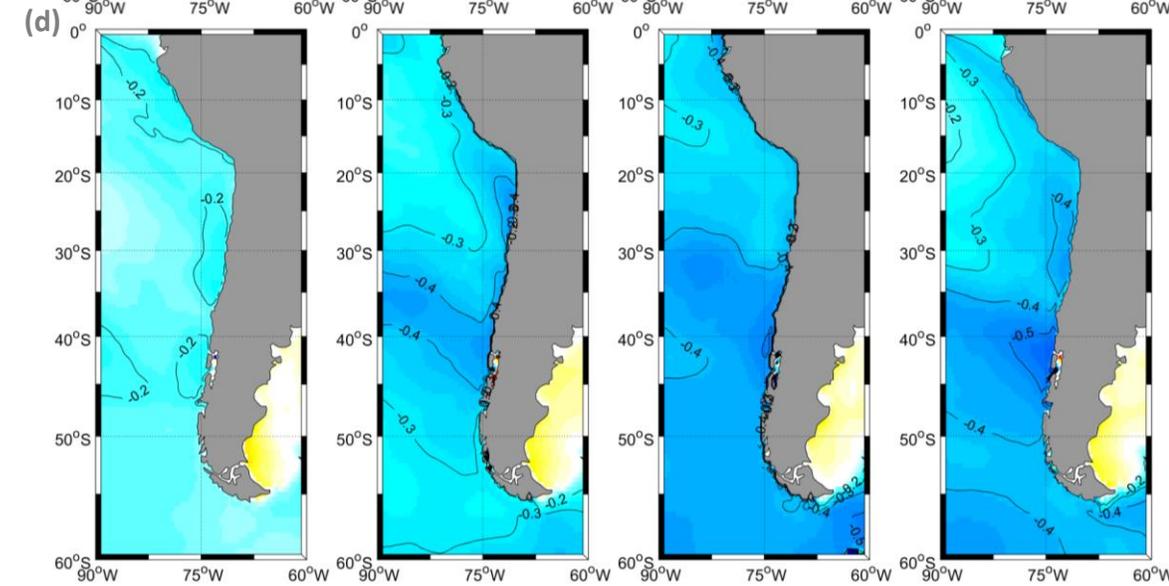
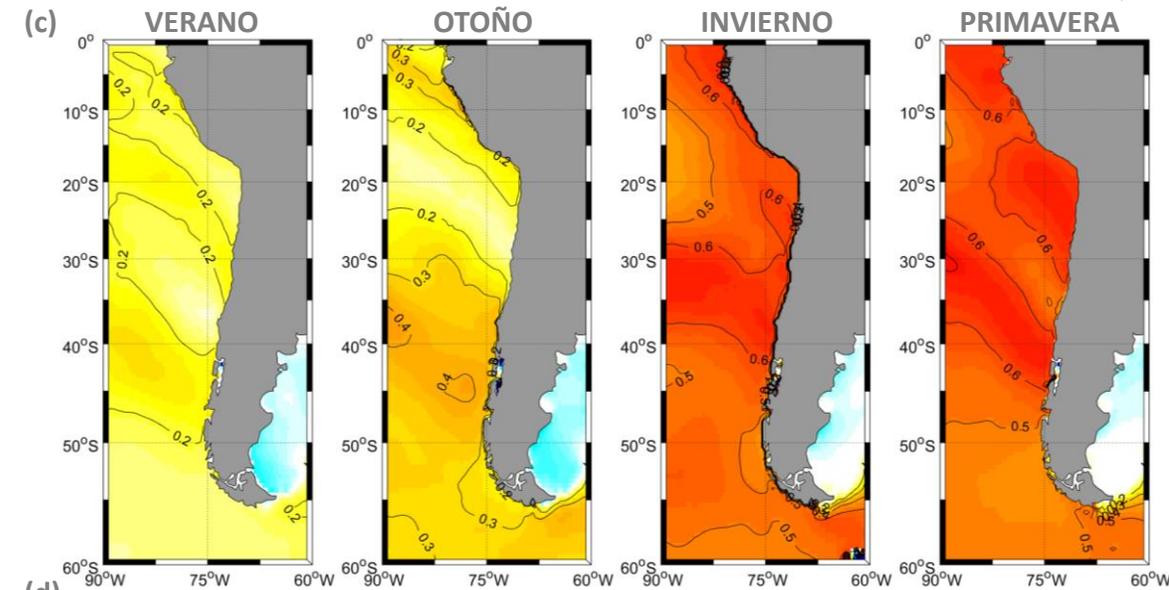


Preferencia estacional, particularmente durante los meses de invierno y primavera austral

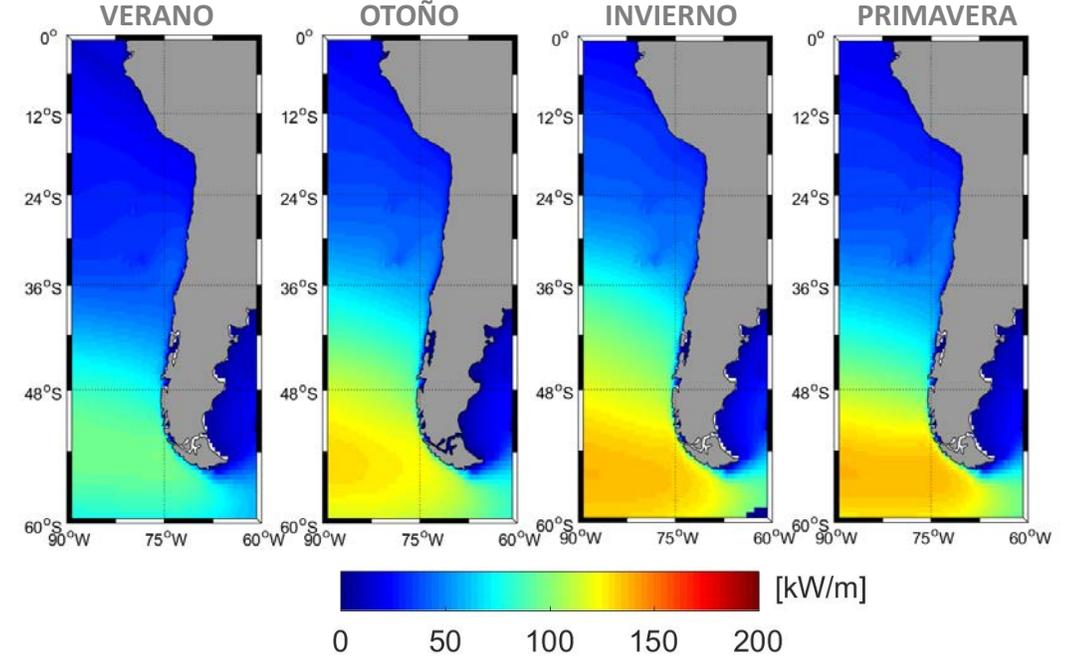
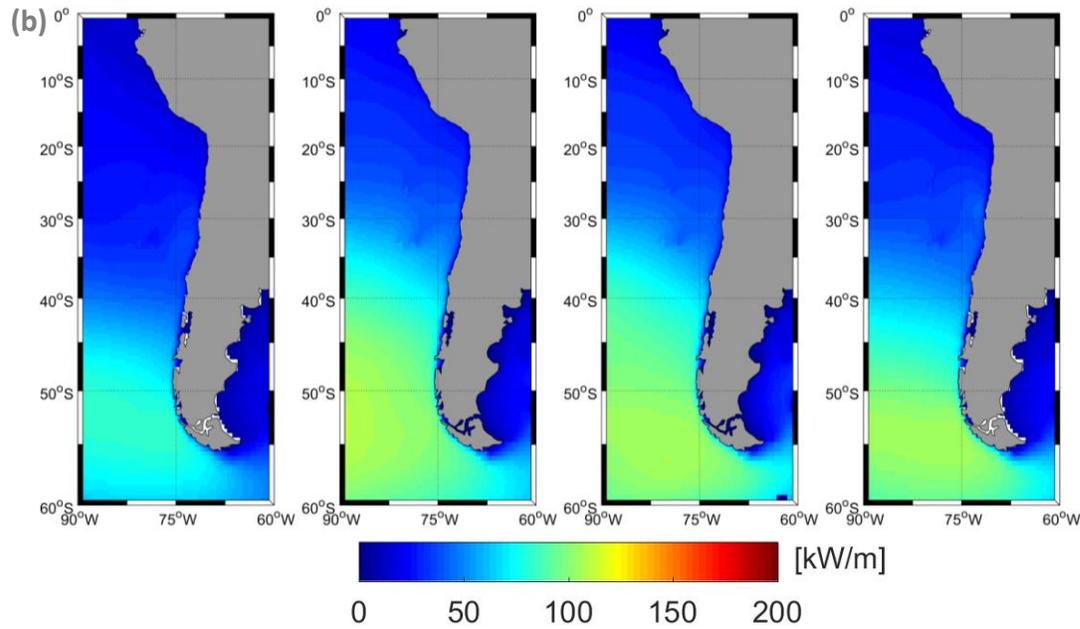
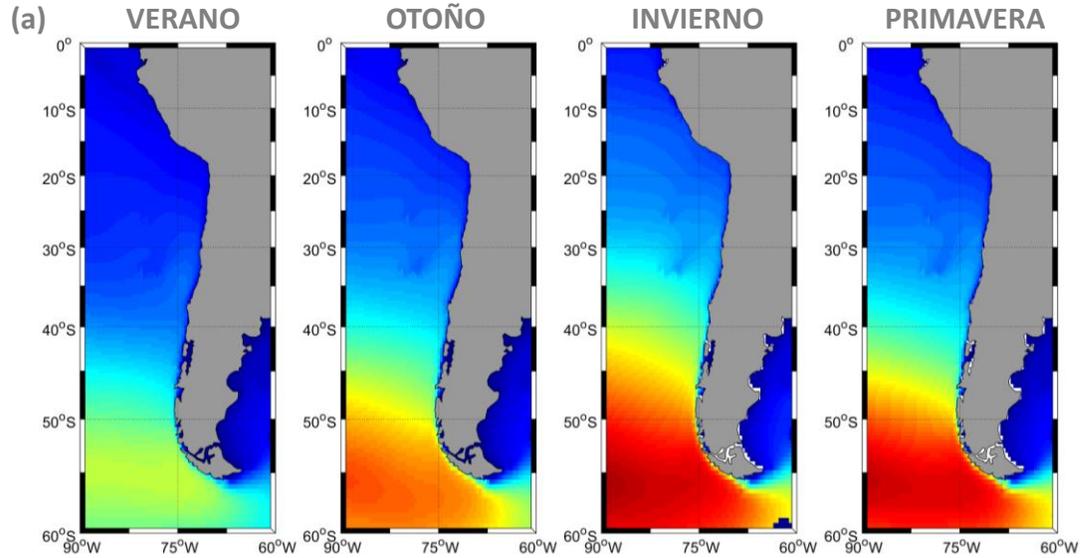
Análisis de correlación entre el índice SAM y las anomalías de (a) hs, (b) Tm. Correlación significativa positiva (95% nivel de confianza) (Fuente: Elaboración propia).



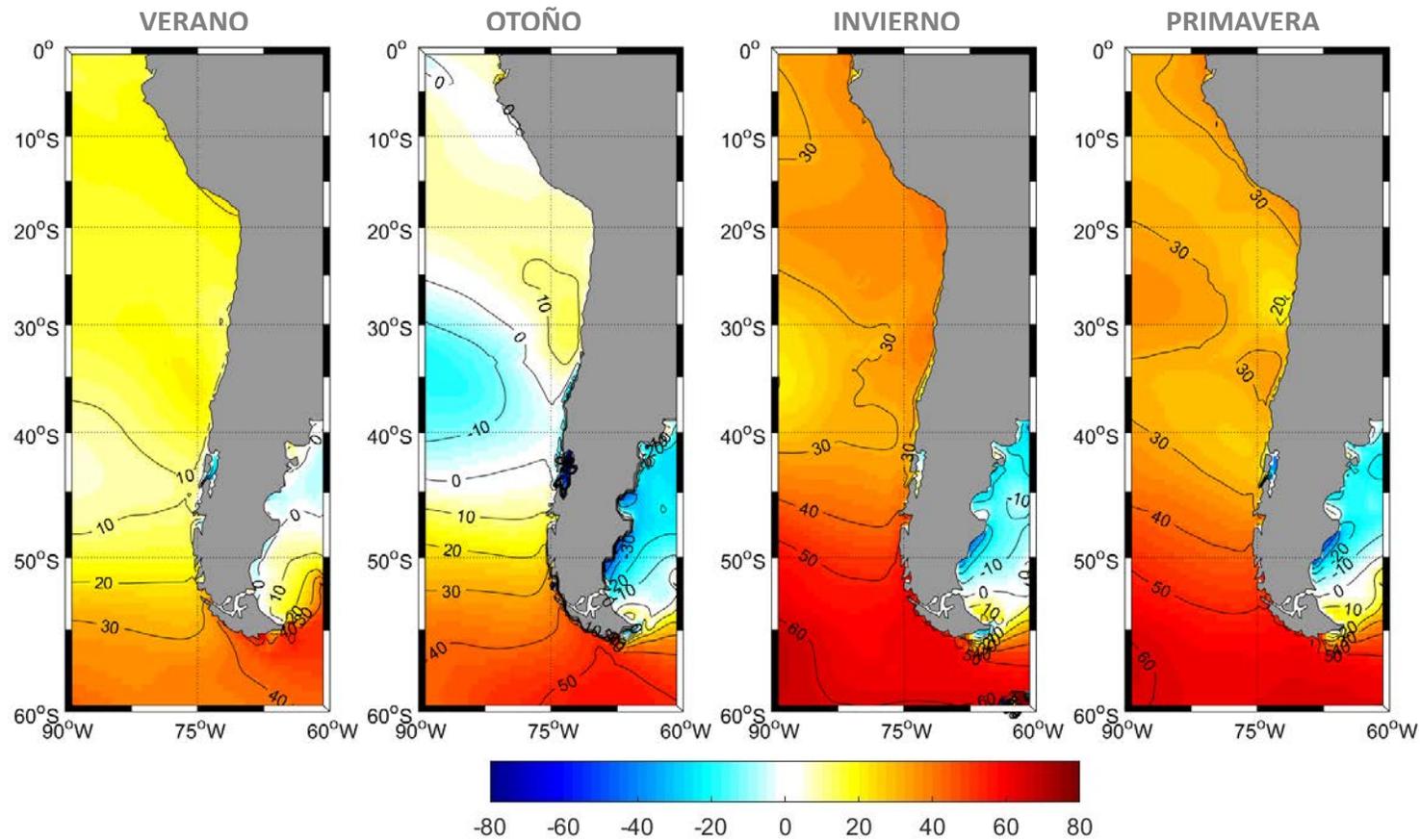
Análisis de compuesto estacional en las anomalías de hs para las tasas opuestas del índice SAM.
Anomalías de hs para el periodo en el que el índice SAM CFSR es (a) mayor al 80% y (b) menor al 20%
(Fuente: Elaboración propia)



Análisis de compuesto estacional en las anomalías de tm para las tasas opuestas del índice SAM.
Anomalías de tm para el periodo en el que el índice SAM CFSR es (c) mayor al 80% y (d) menor al 20%
(Fuente: Elaboración propia)



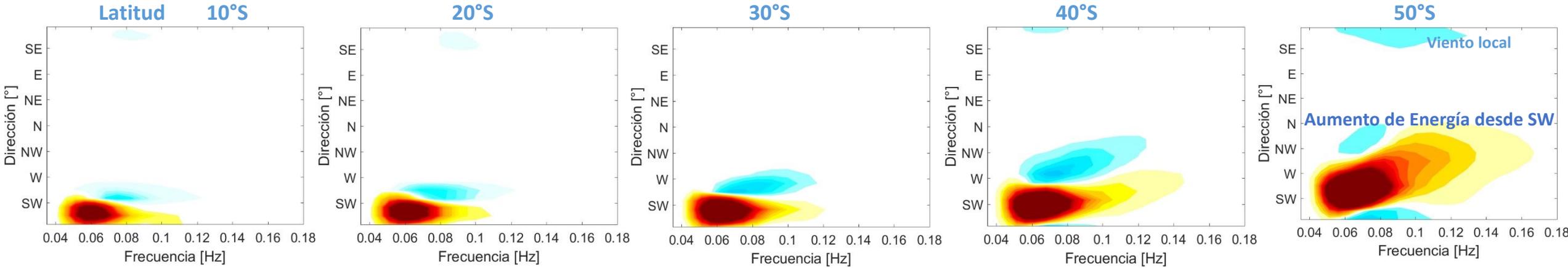
Climatología en la Potencia del oleaje (Fuente: Elaboración propia).



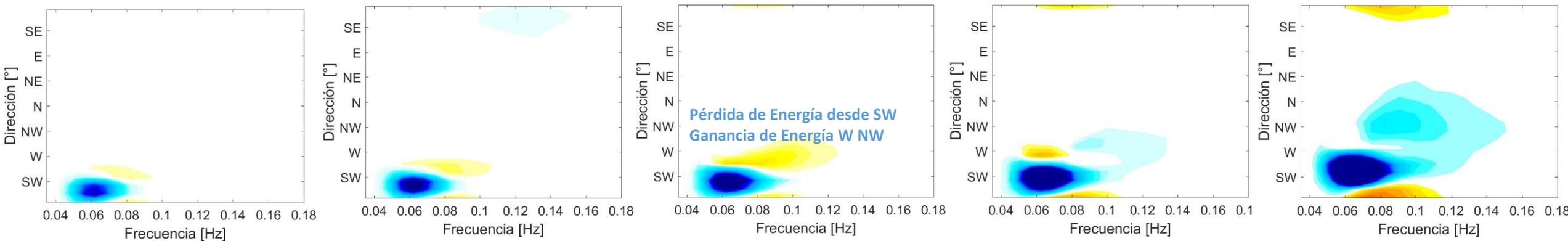
Factor importante en la potencial explotación de las olas ya que puede **modular fuertemente el recurso energético a través de las estaciones y los años.**

Diferencias promedio en la variación porcentual en la potencia del oleaje dadas las fases opuestas del SAM (Fuente: Elaboración propia).

SAMI > SAMI 80%

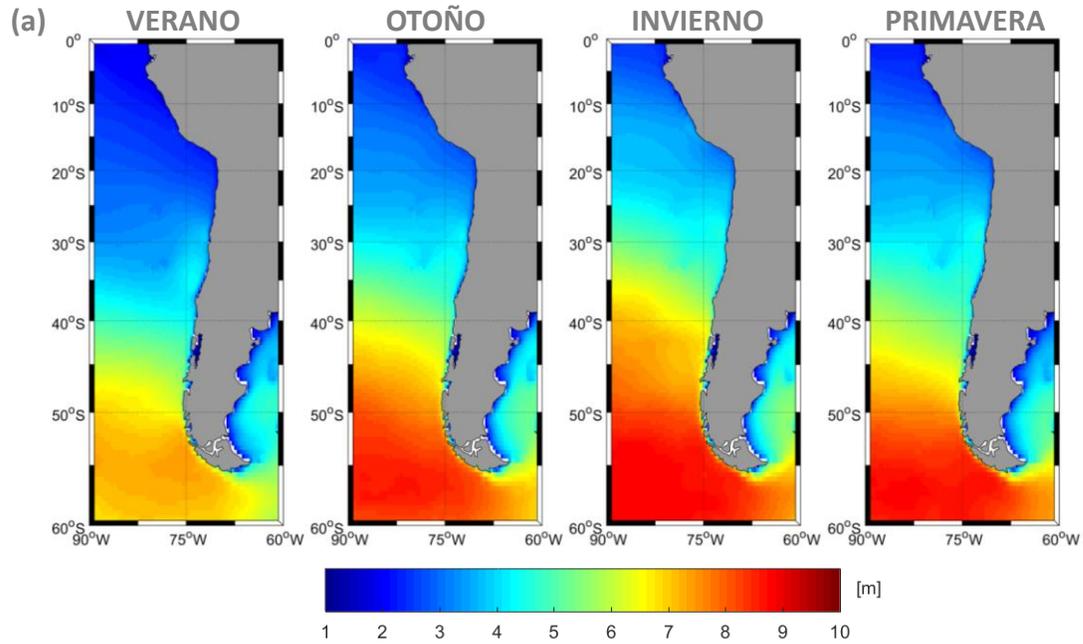


SAMI < SAMI 20%

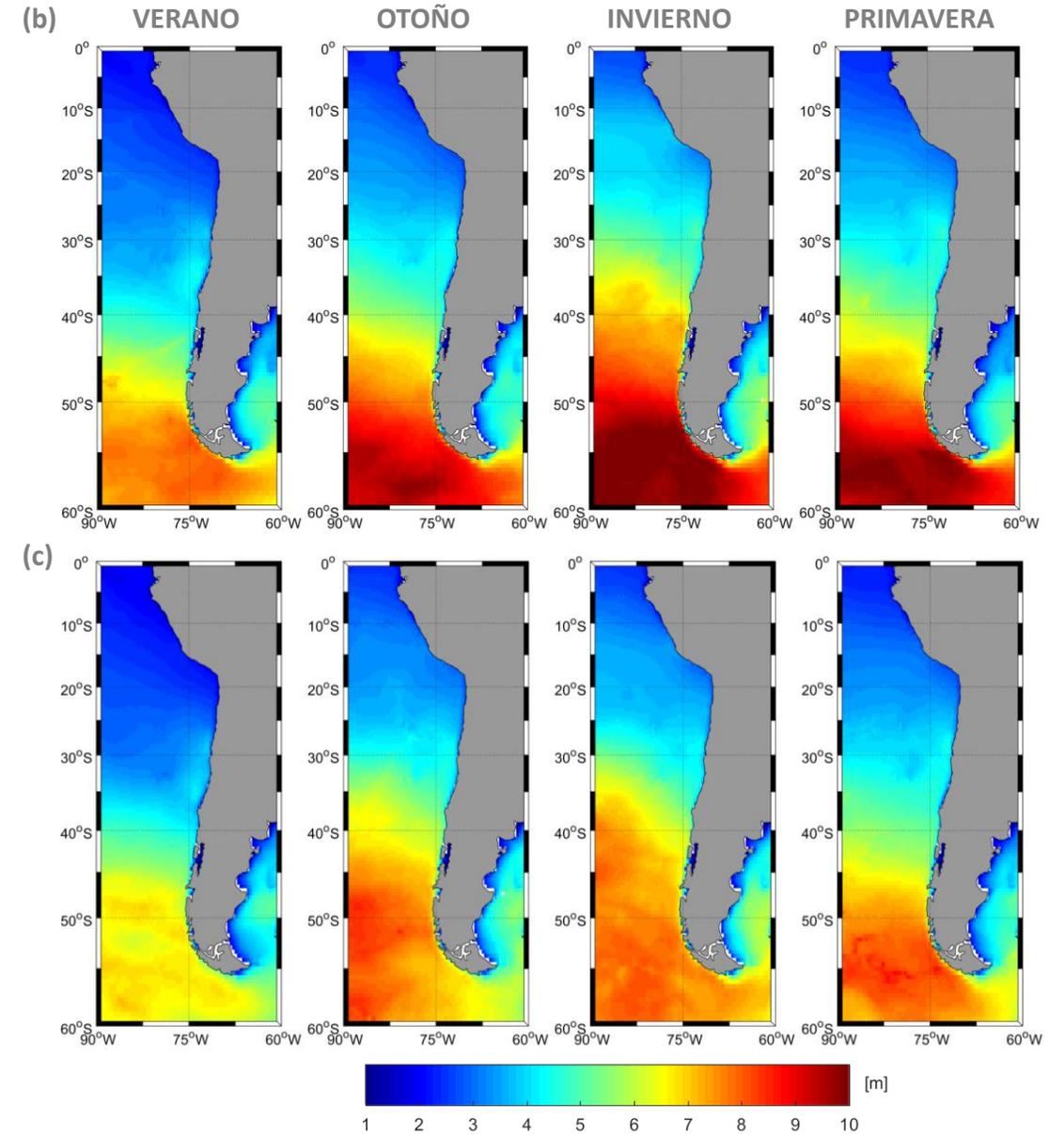


Análisis de compuesto espectral (Fuente: Elaboración propia).

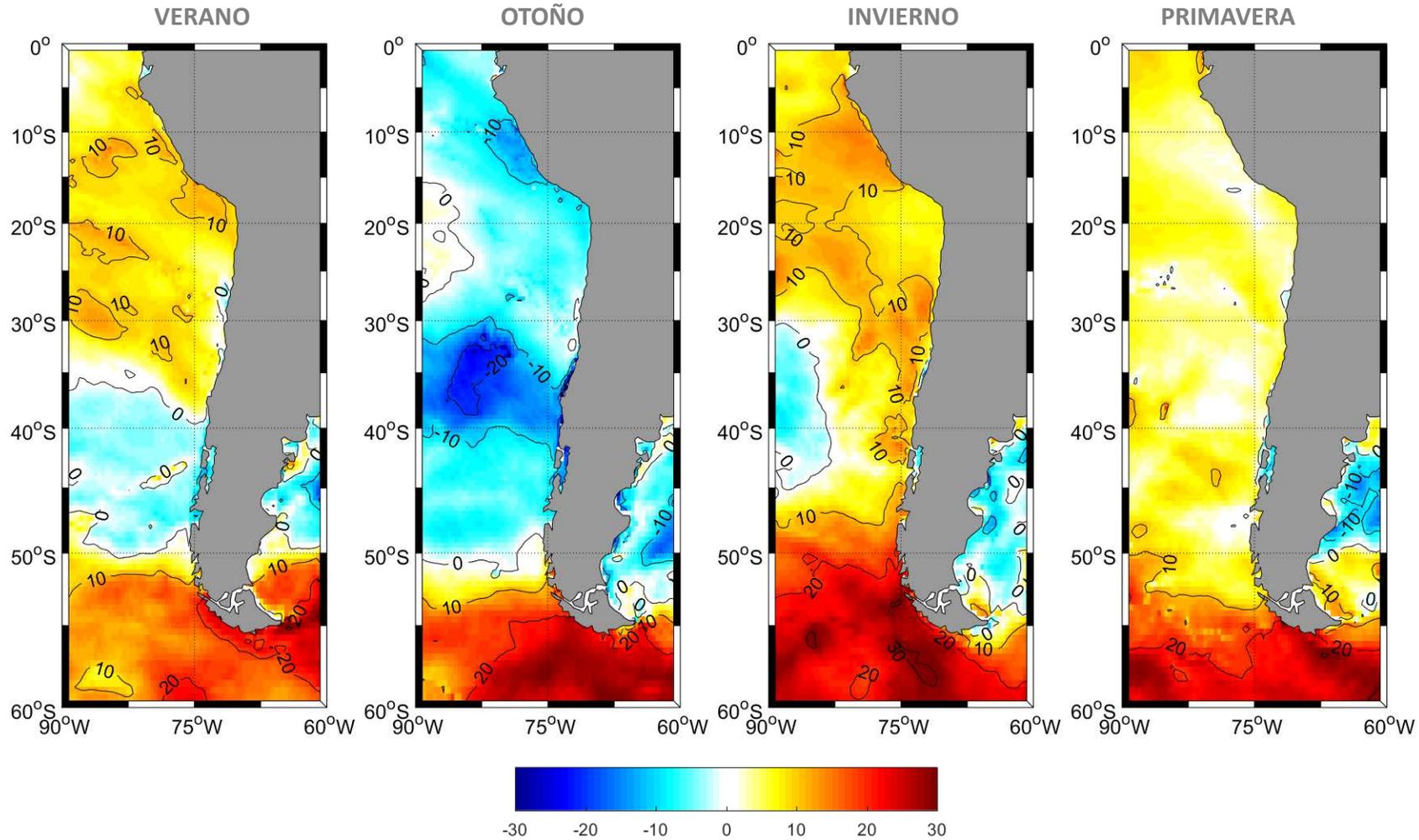
El análisis de compuesto de los datos espectrales del oleaje **revela que el SAM influye sobre la energía del oleaje de mar de fondo que proviene del SW, como también sobre el oleaje generado por el viento local.**



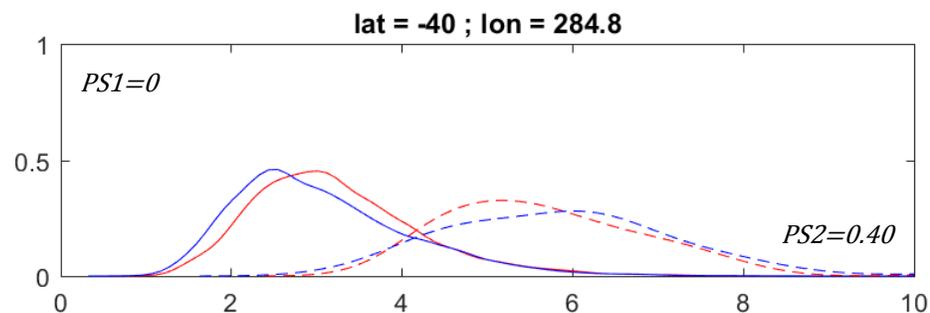
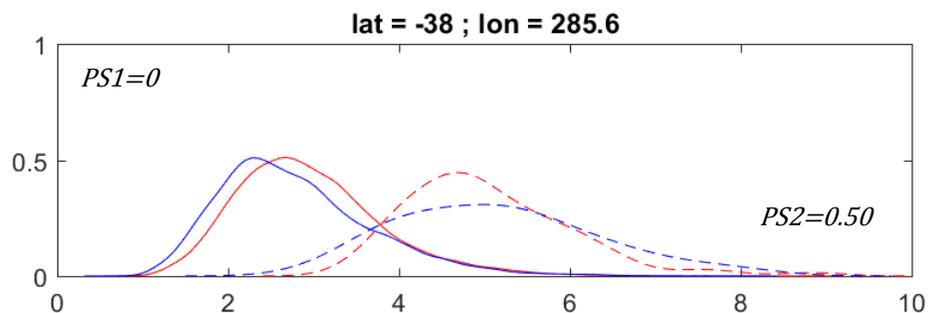
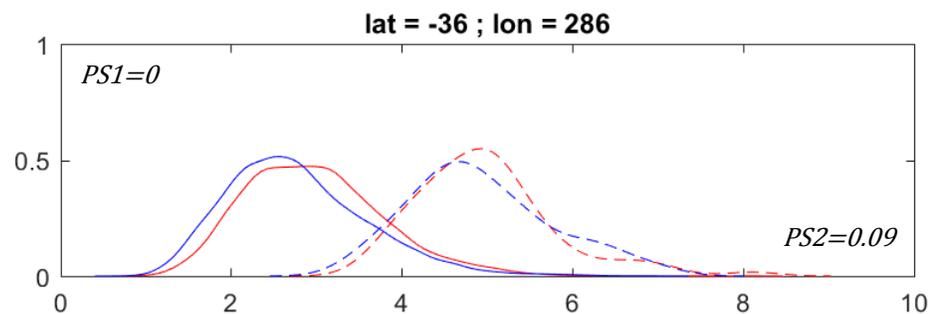
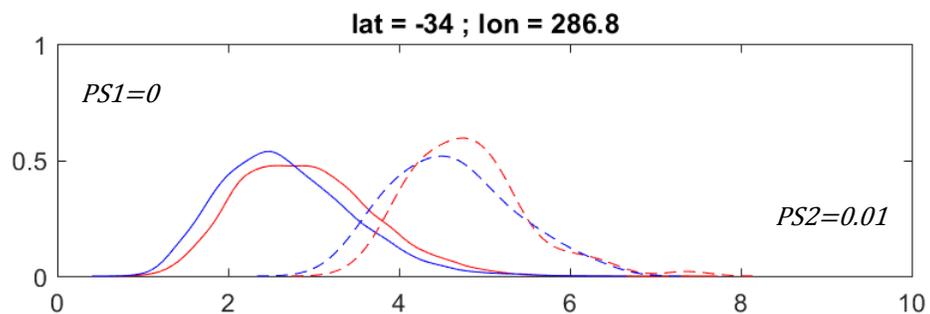
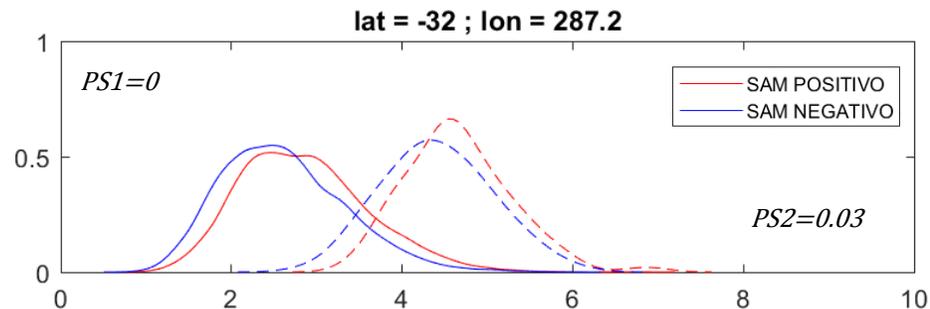
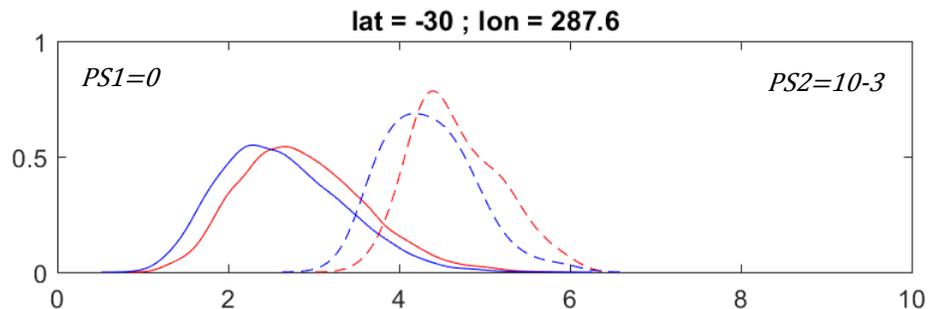
Distribución del ajuste GEV en la altura de olas extremas
(Fuente: Elaboración propia).



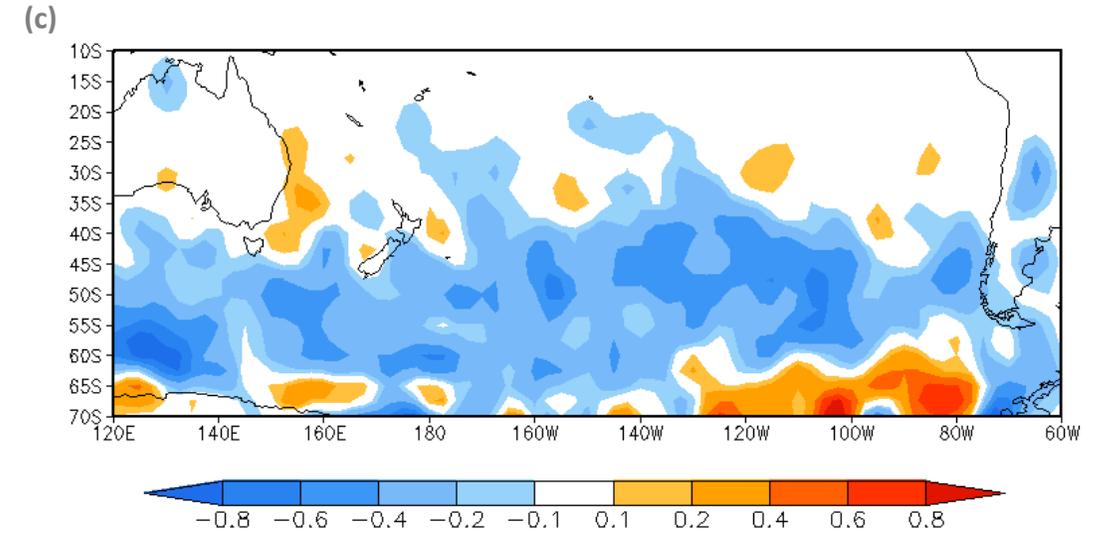
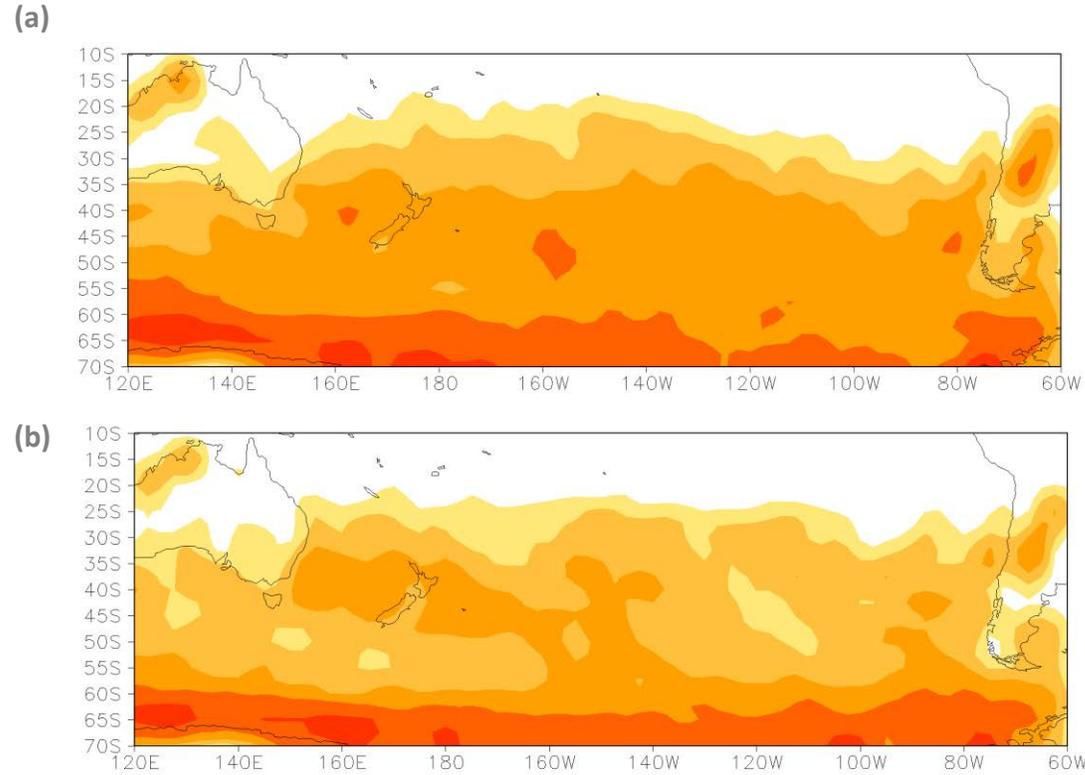
Distribución del ajuste GEV en la altura de olas extremas cuando el índice SAM es
(b) mayor al 80% y (c) menor al 20% del índice SAM (Fuente: Elaboración propia).



Análisis de compuesto en la variación porcentual de la altura de olas extremas
(Fuente: Elaboración propia).



Función de probabilidad en la altura significativa frente a Chile central. Las líneas continuas muestran la distribución de probabilidad considerando las series de tiempo cada 3 horas, mientras que las líneas segmentadas muestran la distribución de probabilidad considerando la serie con los máximos mensuales (Fuente: Elaboración propia).



(c) Diferencia entre las fases opuestas del SAM (SAM positivo-SAM negativo)
(Fuente: Elaboración propia).

Mapa con la densidad de los sistemas ciclónicos (número promedio de sistemas encontrados en un área 10^3 (*grados latitud*)²) para los meses de invierno. (a) periodo en que el índice SAM es mayor al 80%, (b) menor al 20% (Fuente: Elaboración propia).

- El SAM juega un **papel fundamental en la variabilidad climática del hemisferio sur**, siendo uno de los principales forzamientos climáticos en la región. Los cambios en él, **impulsan los cambios en el desplazamiento del cinturón de vientos del Oeste** y en consecuencia en los vientos superficiales que **fuerzan** la propagación del oleaje swell.
- Sobre los océanos los cambios en la presión atmosférica inducen cambios importantes en la velocidad de los vientos superficiales, dada las distintas fases del SAM, dando a lugar a condiciones extraordinarias de generación de oleaje que se propagara como mar de fondo hasta las costas de Chile
- Estudios afirman que existe una **tendencia significativa hacia la fase positiva** del SAM debido **principalmente a causas antropogénicas** como la **disminución o agotamiento del ozono estratosférico y el aumento del CO2**. Incluso si el ozono vuelve a recuperarse, los gases de efecto invernadero obligarán al SAM a entrar de manera más frecuente en su fase positiva, dando lugar a **presiones más altas sobre Chile central, llevando los frentes fríos y las tormentas más al sur de lo habitual**.
- En un contexto de **cambio climático**, los cambios futuros en el clima de las olas, bajo los **incrementos proyectados en la intensidad de las tormentas del océano Austral**, son un factor clave para las áreas de la ingeniería y su variabilidad debe ser considerada al momento de planificar, gestionar, diseñar o proteger las actividades costeras.



INFLUENCIA DEL MODO ANULAR AUSTRAL SOBRE EL OLEAJE INCIDENTE EN LAS COSTAS DE CHILE.

