

# ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL REGISTRO SÍSMICO OFFSHORE “3D” ÁREAS AUS\_105, AUS\_106 Y MLO\_121, ARGENTINA

## CAPÍTULO 5 - LÍNEA DE BASE AMBIENTAL

### PARTE 2 – MEDIO FÍSICO

FEBRERO DE 2023

#### ÍNDICE

<b>1</b>	<b>GEOLOGÍA</b>	<b>8</b>
1.1	ESTRUCTURA	10
1.2	FACTORES QUE CONDICIONARON EL MODELADO Y SEDIMENTACIÓN EN EL MARGEN CONTINENTAL ARGENTINO	13
1.3	ESTRATIGRAFÍA Y ESPESOR SEDIMENTARIO	20
1.4	PELIGROSIDAD GEOLÓGICA	30
<b>2</b>	<b>OCEANOGRAFÍA</b>	<b>32</b>
2.1	BATIMETRÍA Y LECHO MARINO	32
2.2	CORRIENTES Y MASAS DE AGUA	35
2.3	MAREAS	45
2.4	CLIMA DE OLAS	49
2.5	PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO Y FITOPLANCTON	59
2.5.1	Distribución de los parámetros Temperatura y Salinidad	59
2.5.2	Parámetros Químicos y Fitopláncton	70
<b>3</b>	<b>CLIMATOLOGÍA</b>	<b>80</b>
<b>4</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>94</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de terrazas. Fuente: Violante et al., 2014 (ampliado a partir de las descripciones de Parker et al., 1997 y Violante, 2005).	23
Tabla 2. Tipos sedimentarios de la plataforma. Fuente: Violante et al., 2014 (ampliado a partir de las descripciones de Parker et al., 1997).	24
Tabla 3. Subambientes y regiones geográficas de la plataforma. Fuente: Violante et al., 2014.	24
Tabla 4. Cronoestratigrafía representando los principales elementos de sistemas petrolíferos, megasecuencias, unidades sismoestratigráficas, discordancias y fases tectónicas. Fuente: Baristeas et al. (2013).	26
Tabla 5. Descripción del material encontrado en testigos de fondo. Fuente: GeoMapApp (www.geomapp.org).	29
Tabla 6. Alturas de marea (metros sobre el plano de reducción), correspondientes al pronóstico de mareas 2020 del Servicio de Hidrografía Naval.	49
Tabla 7. Análisis estadístico direccional de altura significativa de ola para la serie 2009-2018 en el nodo IFREMER 1 (arriba: número de eventos; abajo: %).	53
Tabla 8. Análisis estadístico direccional de altura significativa de ola para la serie 2009-2018 en el nodo IFREMER 2 (arriba: número de eventos; abajo: %).	54
Tabla 9. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Valores medios.	85
Tabla 10. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Valores medios (continuación).	86
Tabla 11. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Valores extremos.	86
Tabla 12. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Número medio de días.	87
Tabla 13. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Velocidad media del viento y frecuencia por dirección.	88
Tabla 14. Análisis estadístico direccional (arriba: número eventos, abajo: %) de la serie 1994-2019 de vientos horarios del SMN para la estación Río Grande.	89
Tabla 15. Análisis estadístico direccional (arriba: número eventos, abajo: %) de la serie 2009-2018 para el nodo IFREMER 1.	90
Tabla 16. Análisis estadístico direccional (arriba: número eventos, abajo: %) de la serie 2009-2018 para el nodo IFREMER 2.	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Principales rasgos submarinos del sector continental e insular argentino y Área Operativa sísmica. Modificado de COPLA (2017). 9
- Figura 2. Esquema básico de la plataforma continental jurídica y su relación con el margen continental (cuando supera las 200 M desde las líneas de base desde las cuales se mide el mar territorial). Fuente: COPLA (2017). 10
- Figura 3. Principales cuencas sedimentarias del margen continental argentino. Fuente: ENARSA (s/f). 11
- Figura 4. Mapa estructural simplificado con los principales lineamientos de la región sur de Tierra del Fuego y su offshore atlántico. 1: falla de rumbo; 2: falla de cabalgamiento con el triángulo en el techo; 3: falla normal con las púas en la pared colgante; 4: sedimentos del Plio-Pleistoceno; 5: sedimentos del Mioceno; 6: sedimentos paleógenos; 7: metasedimentos del Cretácico; 8: Rocas metamórficas del Jurásico Superior; IFTB: faja interna de Magallanes plegada y corrida; OFTB: faja externa de Magallanes plegada y corrida; fault: falla; basin: cuenca. Fuente: modificado de Tassone et al., 2008. 13
- Figura 5. Mapa geomorfológico con indicación de las profundidades del quiebre de pendiente plataforma exterior-talud (puntos negros). Fuente: Violante et al., 2014 (modificado de Parker et al., 1996). 15
- Figura 6. Rasgos geomorfológicos del margen continental en el área de estudio. Línea verde (a la derecha, arriba y abajo): 200 M. Fuente: modificado de COPLA (2017). 16
- Figura 7. Mapa batimétrico de la plataforma, con indicación de paleolíneas de costas a diferentes profundidades. Se ilustran las de 30, 90 y 110 m según los detalles evidenciados en la plataforma bonaerense más la de 70 m que correspondería a la base de la terraza I, coincidente con el nivel del mar al momento de ocurrencia del período Youger Dryas. Fuente: Violante et al., 2014. 18
- Figura 8. Área estudiada por Baristeas et al. (2013) en las cuencas Austral y Malvinas (polígono de línea blanca rayada). Las líneas negras corresponden a las isopacas, cuyos valores se indican en km, los círculos negros corresponden a perforaciones realizadas y las líneas naranjas representan las derrotas de dos líneas sísmicas. El polígono amarillo indica el Área Operativa Sísmica del presente proyecto. Fuente: modificado de Baristeas et al., 2013. 25
- Figura 9. Espesor sedimentario de las unidades U5a/b. Fuente: Baristeas et al. (2013). 27
- Figura 10. Líneas sísmicas O-E (arriba) y N-S (abajo) interpretadas. Ver ubicación en Figura 8. Fuente: Baristeas et al. (2013). 27
- Figura 11. Cobertura sedimentaria superficial del lecho del margen continental argentino. El polígono turquesa indica el: Área Operativa sísmica. Los puntos negros y sus leyendas corresponden a testigos de fondo. Modificado del Atlas de sensibilidad ambiental de la costa y el mar argentino (2008). 28
- Figura 12. Espesor sedimentario en las cuencas Austral y Malvinas. Las líneas negras corresponden a las isopacas. Fuente: Modificado de COPLA (2017). 29
- Figura 13. Mapa de Zonificación Sísmica del Instituto Nacional de Prevención Sísmica de la Argentina (INPRES). Abajo a la izquierda se muestra un detalle de la zona de interés del proyecto. 31

- Figura 14. Perfil S-N a lo largo del quiebre de pendiente plataforma exterior-talud. R-M y A-B: zona influenciada por la actividad de los sistemas de cañones submarinos Río de la Plata-Mar del Plata y Ameghino-Alte. Brown respectivamente (para su ubicación ver Figura 5). Fuente: Violante et al., 2014. 33
- Figura 15. Batimetría del área de estudio y posición de las transectas correspondientes a seis perfiles batimétricos. Fuente: base global de datos GEBCO “The General Bathymetric Chart of the Oceans”: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/) 34
- Figura 16. Perfiles batimétricos correspondientes al Área Operativa Sísmica (ver ubicación en Figura 15). Fuente: base global de datos GEBCO “The General Bathymetric Chart of the Oceans”: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/) 34
- Figura 17. Esquema de la circulación superior de las principales corrientes del Atlántico Sudoccidental. Las líneas negras corresponden al flujo de las aguas antárticas y subantárticas, asociadas con la Corriente Circumpolar Antártica y la corriente de Malvinas respectivamente. Las líneas rojas representan el flujo de las aguas subtropicales transportadas por la corriente de Brasil. Sobre la plataforma continental patagónica, las flechas azules y verdes representan las corrientes medias en superficie. Las isoclinas finas de color negro muestran el campo de salinidad a 200 m de profundidad, usado para inferir parte del esquema de la circulación. En la confluencia Brasil-Malvinas se desarrolla un fuerte frente de salinidad que se extiende con un patrón meandroso hacia el interior del océano formando la corriente del Atlántico Sur. Fuente: Piola y Matano (2017). 37
- Figura 18. Principales rasgos fisiográficos y corrientes de la plataforma continental patagónica. En gris se muestran las trayectorias de la rama norte de la Corriente Circumpolar Antártica (*Antarctic Circumpolar Current -ACC-*), la corriente del cabo de Hornos (*Cape Horn Current -CHC-*) y la corriente de Malvinas (*Malvinas Current -MC-*). La línea fina amarilla corresponde al frente subantártico (*Subantarctic Front -SAF-*). PLME: gran ecosistema marino de la Patagonia. Southern HLME: gran ecosistema marino de Humboldt. Fuente: Guihou et al. (2020). 38
- Figura 19. Distribución horizontal de la salinidad climatológica superficial de la plataforma continental argentina. Se resaltan las isohalinas que separan las distintas masas de agua (33,4 UPS y 33,8 UPS). Las abreviaturas corresponden a: agua costera de baja salinidad (*Low Salinity Coastal Water -LSCW-*), agua costera de alta salinidad (*High Salinity Coastal Water -HSCW-*), agua de plataforma (*Shelf Water -SW-*), agua de Malvinas (*Malvinas Water -MW-*) y frente de talud (*Shelf Break Front -SBF-*). Fuente: Bianchi et al., 2005. 39
- Figura 20. Esquema del transporte medio total de la capa superior (0-200 m) del océano calculado con ROMS sobre la plataforma austral chilena (Southern Chilean Shelf -SCHS-), la región austral de la plataforma patagónica (Southern Patagonian Shelf -SPS1 y SPS2-), la plataforma de Malvinas (Malvinas Shelf -MiS-) y la cuenca de Malvinas (Malvinas Embayment -ME-). La escala de colores representa la salinidad media superficial arrojada por el modelo y los vectores representan la velocidad promedio en profundidad (entre la superficie y el fondo). Las flechas y cifras negras indican el transporte (en Sverdrup) integrado a través de cada una de las secciones. Longitud: Latitud: Latitud. Fuente: Guihou et al., (2020). 42
- Figura 21. Posición sobre la plataforma (distancia desde la costa) de la isohalina de 33,5 UPS frente a Bahía Grande (aproximadamente 51°S; Figura 18) para distintos forzantes considerados en la simulación numérica. Las líneas representan los resultados obtenidos considerando los siguientes forzantes: únicamente la descarga a través del estrecho de Magallanes (cuadrados negros); descarga más vientos (triángulos azules); descarga más mareas (asteriscos verdes); descarga más mareas más vientos (rombos rojos); y descarga más mareas más vientos más corriente de Malvinas -CM- (círculos celestes). Fuente: Modificado de Palma y Matano, (2012). 44
- Figura 22. Vectores de la velocidad promedio en la vertical sobre la plataforma continental patagónica, resultantes de la simulación numérica que incluye todos los forzantes que actúan en la región. Las líneas grises indican las isobatas de 100 m y 200 m. Fuente: Palma y Matano (2012). 45



- Figura 23. Ubicación de las estaciones de pronóstico de mareas (violeta: pronóstico de alturas, verde: pronóstico de corrientes) del Servicio de Hidrografía Naval. Se muestra el polígono (blanco) correspondiente al Área Operativa Sísmica del proyecto. 46
- Figura 24. Corriente de marea frente a Puerto Río Grande. Fuente: elaboración propia, a partir del pronóstico de mareas cada 6 horas publicado por el Servicio de Hidrografía Naval para el mes de enero de 2020. 46
- Figura 25. Carta cotidal (cada 20<sup>o</sup>) y de isoamplitudes (cada 25 cm) de la componente principal lunar de marea (M2). Amplitude: Amplitud. Fuente: Palma et al. (2004). 47
- Figura 26. Cartas de isoamplitudes (expresadas en centímetros) para las principales componentes de marea, diurnas y semidiurnas. Información de base: alturas del nivel del mar de estaciones de marea y altimetría satelital. Fuente: D’Onofrio et al. (2016). 48
- Figura 27. Altura significativa de ola media anual (en metros) para el período 1971-2005. Fuente: Global Atlas of Ocean Waves. 50
- Figura 28. Período de ola medio anual (en segundos) para el período 1971-2005. Fuente: Global Atlas of Ocean Waves. 50
- Figura 29. Ubicación de los nodos de la base de datos IFREMER analizados, sobre la batimetría de la región de estudio. Fuente de la batimetría: base global de datos GEBCO “The General Bathymetric Chart of the Oceans”: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/) 51
- Figura 30. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 1. hs izquierda, tp derecha, período 2009 a 2018. 52
- Figura 31. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 2. hs izquierda, tp derecha, período 2009 a 2018. 53
- Figura 32. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 1, hs dividida por estación, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera. 55
- Figura 33. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 1, tp dividido por estación, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera. 56
- Figura 34. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 2, hs dividida por estación, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera. 57
- Figura 35. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 2, tp dividido por estación, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera. 58
- Figura 36. (a) Campo climatológico, derivado de observaciones, de la salinidad superficial de la plataforma patagónica. (b y c) Secciones climatológicas de salinidad correspondientes a las transectas CIII y CII. La línea blanca corresponde a la isohalina de 33,5 UPS. Depth: Profundidad. Distance offshore: Distancia en alta mar. Salinity: Salinidad. Fuente: Palma y Matano (2012). 59
- Figura 37. Campo climatológico derivado de observaciones, sobre imagen de Google Earth, de la salinidad superficial de la región de estudio. La línea blanca corresponde a la isohalina de 33,5.UPS. El polígono magenta corresponde al Área Operativa sísmica del proyecto. Fuente: modificado de Palma y Matano (2012). 60



- Figura 38.** Circulación general superficial en la plataforma patagónica (las flechas son proporcionales a la velocidad) según Sabatini et al. (2004), mostrándose las posiciones de las estaciones CTD realizadas hacia fines de los veranos del período 1994-2000. Nota: la corriente Patagónica se refiere a la denominación de Brandhorst y Castello (1971). 60
- Figura 39.** Diagrama T-S de la plataforma patagónica correspondiente al fin del verano. Se distinguen el agua costera o agua costera de baja salinidad (Coastal Water -CW-), el agua de plataforma (Shelf Water -SW-) y el agua de Malvinas (Malvinas Water -MW-). Temperature: Temperatura. Salinity: Salinidad. Fuente: Sabatini et al. (2004). 61
- Figura 40.** Estratificación térmica de la plataforma patagónica entre las latitudes de 47°S y 53° S correspondiente a mediciones realizadas en marzo de 1999. Con el objeto de ejemplificar los patrones típicos se seleccionaron estaciones CTD ubicadas en la plataforma media sobre la isobata de 100 m. Las flechas son proporcionales al flujo medio de calor (Surface heat flux) sobre la superficie del mar según Esbensen y Kushnir (1981). Depth: Profundidad. Temperature: Temperatura. Fuente: Sabatini et al. (2004). 63
- Figura 41.** Temperaturas medias y varianzas sobre la plataforma patagónica correspondientes al final de los veranos de los años 1994 a 2000. (a) valores en superficie y (b) valores en el fondo. Mean: Promedio. Variance: Varianza. Surface: Superficie. Bottom: Fondo. Temperature: Temperatura. Fuente: Sabatini et al. (2004). 64
- Figura 42.** Salinidades medias y varianzas sobre la plataforma patagónica correspondientes al final de los veranos de los años 1994 a 2000. (a) valores en superficie y (b) valores en el fondo. Mean: Promedio. Variance: Varianza. Surface: Superficie. Bottom: Fondo. Salinity: Salinidad. Fuente: Sabatini et al. (2004). 65
- Figura 43.** Densidades medias y varianzas sobre la plataforma patagónica correspondientes al final de los veranos de los años 1994 a 2000. (a) valores en superficie y (b) valores en el fondo. Mean: Promedio. Variance: Varianza. Surface: Superficie. Bottom: Fondo. Density: Densidad. Fuente: Sabatini et al. (2004). 66
- Figura 44.** Perfiles verticales de temperatura (a), salinidad (b) y densidad (c) a lo largo de una sección ubicada frente a Bahía Grande (51°S), correspondientes a la campaña de marzo de 1994. Los triángulos sobre la imagen superior representan la posición de las estaciones CTD realizadas sobre la transecta. Depth: Profundidad. Offshore distance: Distancia en alta mar. Fuente: Sabatini et al. (2004). 67
- Figura 45.** Distribución horizontal del parámetro de estabilidad de Simpson (estandarizado por profundidad): (a) valores medios y (b) varianzas correspondientes a las mediciones realizadas hacia fines de los veranos de los años 1994-2000. Mean: Promedio. Variance: Varianza. Fuente: Sabatini et al. (2004). 67
- Figura 46.** Distribución superficial de Temperatura potencial en superficie (°C), promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 68
- Figura 47.** Distribución superficial de Salinidad (ups) en superficie, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 69
- Figura 48.** Distribución superficial de Oxígeno disuelto, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 71
- Figura 49.** Distribución superficial de Nitrato, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 73



- Figura 50. Distribución superficial de Fosfato, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 74
- Figura 51. Distribución superficial de Silicato, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 75
- Figura 52. Distribución superficial de Hierro, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 76
- Figura 53. Distribución superficial de Clorofila-a, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 77
- Figura 54. Distribución superficial de Producción Primaria, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 78
- Figura 55. Distribución superficial de Fitoplancton, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS. 79
- Figura 56. Temperatura de la superficie del mar (°C) correspondiente a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997. 81
- Figura 57. Temperatura del aire en superficie (°C) correspondiente a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997. 81
- Figura 58. Presión de superficie (hPa) correspondientes a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997. 83
- Figura 59. Velocidad media del viento (m/s) correspondiente a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997. 84
- Figura 60. Frecuencia del viento fuerte (>6 en escala Beaufort, línea llena) y vendaval (>8 Beaufort, línea punteada) correspondiente a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997. 84
- Figura 61. Distribución direccional de la velocidad del viento de la serie 1994-2019 de vientos horarios del SMN para la estación Río Grande. 88
- Figura 62. Rosas de los vientos para los nodos IFREMER 1 y 2, período 2009 a 2018. 90
- Figura 63. Rosas de los vientos para el nodo IFREMER 1, división estacional, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera. 92
- Figura 64. Rosas de los vientos para el nodo IFREMER 2, división estacional, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera. 93



## CAPÍTULO 5 – LÍNEA DE BASE AMBIENTAL (PARTE 2 – MEDIO FÍSICO)

### 1 GEOLOGÍA

La corteza terrestre se divide en dos grandes tipos, la corteza continental y la corteza oceánica. La mayor parte de la corteza continental está sobre el nivel del mar, pero otra parte está sumergida en los océanos. A esta zona de transición entre los continentes y las cuencas oceánicas se le conoce como margen continental y, aunque comparte las características geológicas de los primeros, ha sido profundamente modelada por los procesos marinos.

En el margen continental se pueden distinguir tres áreas principales:

- Plataforma continental: zona bajo el nivel del mar que va descendiendo de forma suave hasta una profundidad que suele alcanzar los 200 metros.
- Talud continental: zona con una inclinación muy pronunciada y fuerte descenso que puede llegar hasta 3000 - 4000 metros de profundidad.
- Zona de transición: la zona de transición entre la corteza continental y la corteza oceánica se sitúa entre el talud y las llanuras abisales y puede ser de dos tipos: una fosa muy profunda, llamada fosa oceánica, o una zona de acumulación de sedimentos denominada emersión continental o elevación continental. La fosa se forma en los márgenes continentales activos (con subducción de placas tectónicas) y la emersión continental en los márgenes continentales pasivos (sin subducción).

La emersión continental está a una profundidad generalmente superior a 2000 m bajo el nivel del mar y puede llegar a profundidades muy superiores. Puede extenderse desde varios cientos a varios miles de kilómetros y tiene una inclinación media que suele estar entre 0,5 - 1°. A diferencia del talud, que es una formación tectónica, la elevación continental es una formación sedimentaria.

El margen continental argentino (MCA) está situado mayoritariamente en la placa Sudamericana asociada a la extensión cortical vinculada a la apertura del océano Atlántico a partir del Jurásico Medio, en un contexto geotectónico dominado por un margen continental pasivo, aunque en su porción más austral se asocia a sectores de márgenes activos (Violante et al., 2014).

Una de las etapas más importantes que incidieron en la evolución del margen fue la transgresión marina global que inundó regiones de la actual Patagonia en el Maastrichtiano (70-65 Ma), la cual dio lugar a la primera plataforma continental de esta porción de la placa Sudamericana (Malumián, 1999; Náñez y Malumián, 2008). La profundización de ese mar y consecuente mayor circulación de las aguas a partir del Oligoceno (30-32 Ma), cuando se abrió definitivamente el pasaje de Drake entre Sudamérica y Antártida y se instaló la Corriente Circumpolar Antártica, llevaron a la instalación de condiciones oceanográficas de mar abierto.

Después de estos eventos mayores, la evolución del MCA pasó a ser dominada más por factores climático-oceanográficos que tectónicos, comenzando así a imprimirse los rasgos morfosedimentarios definitivos que, en el caso de la plataforma, se vieron substancialmente influenciados por los procesos glacioeustáticos propios del Cuaternario (Violante et al., 2014).

El MCA es de gran extensión y en él se desarrollan una extensa plataforma (cubre una superficie de ~960000 km<sup>2</sup>), el talud, la emersión continental y numerosos sistemas de cañones submarinos. Si se compara esta región con los 2,7 millones km<sup>2</sup> de superficie de la "Argentina continental" surge la magnitud del enorme territorio que se extiende más allá de la línea de costa (Violante et al, s/f).

Tomando como referencia el pie del talud, el MCA se extiende por más de 3 millones de km<sup>2</sup>, los que incluyen aproximadamente 1 millón de km<sup>2</sup> por encima de la isobata de 200 m (ENARSA, s/f).



En la Figura 1 se presentan los principales rasgos submarinos del sector continental e insular argentino, pudiéndose apreciar la gran extensión de la plataforma continental. En un detalle de la misma para la zona de estudio se señala el Área Operativa sísmica (AOs), ubicada sobre la plataforma continental frente a Tierra del Fuego.

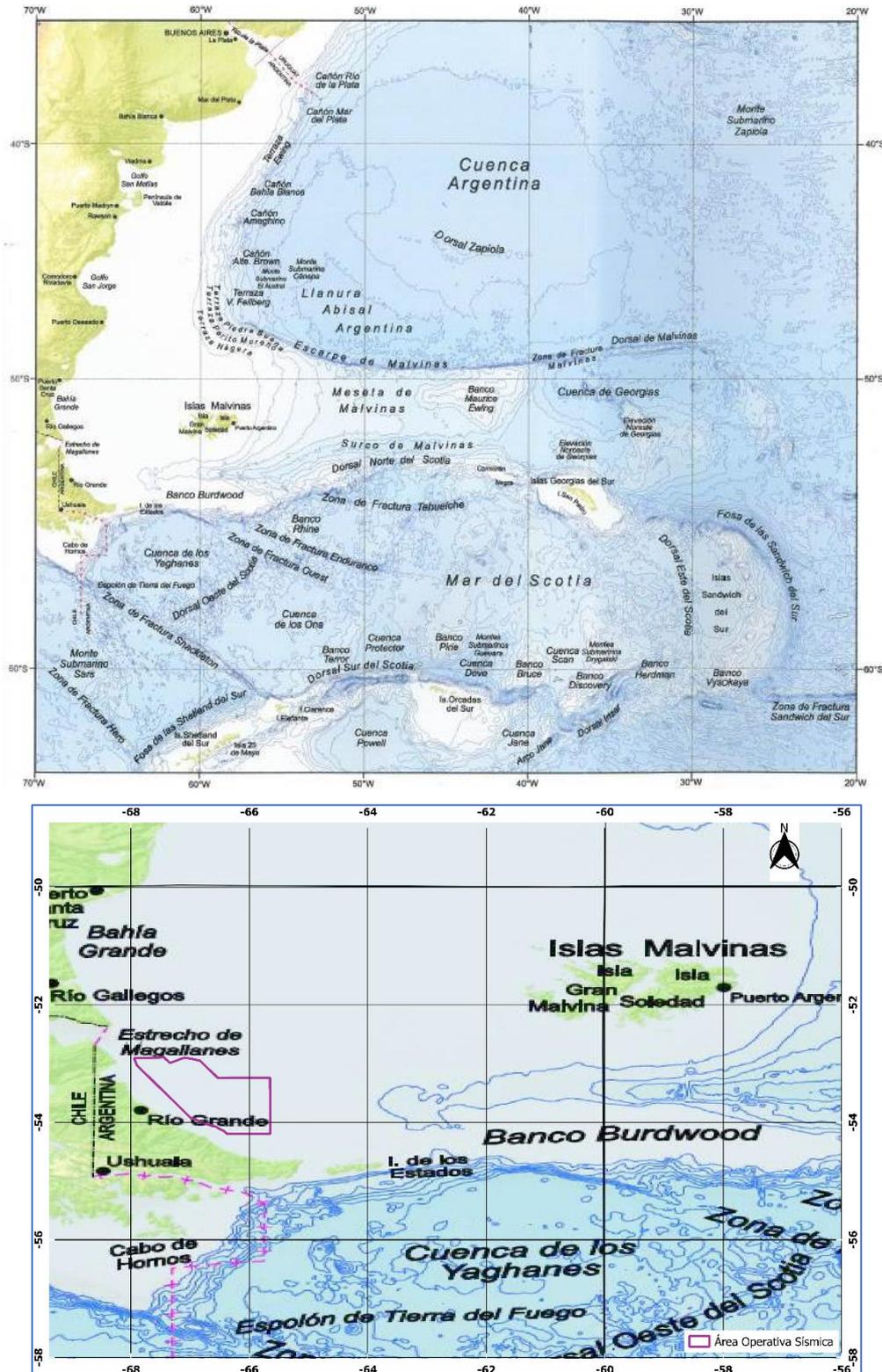
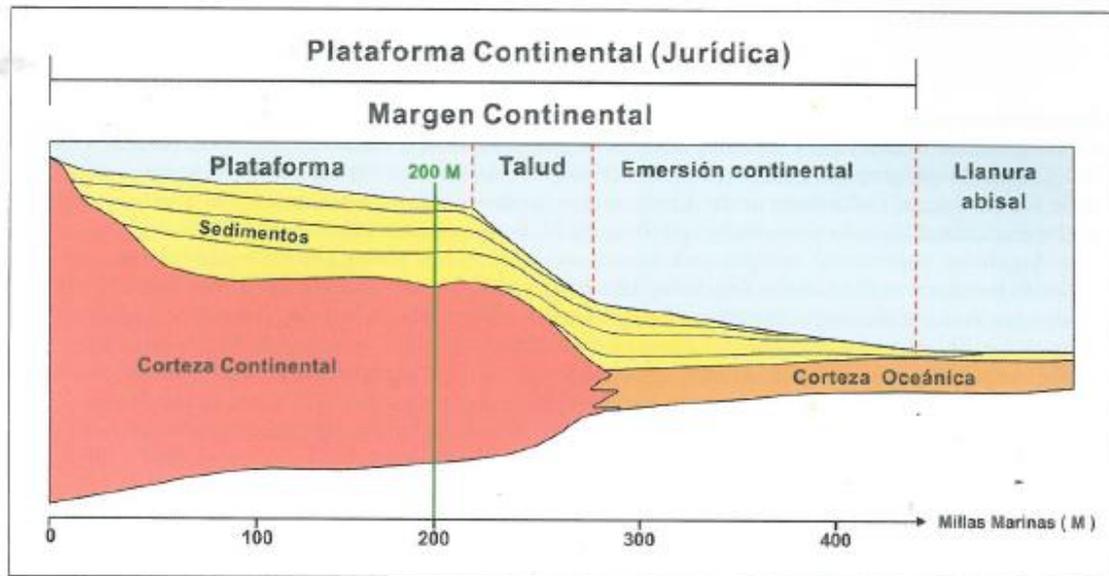


Figura 1. Principales rasgos submarinos del sector continental e insular argentino y Área Operativa sísmica. Modificado de COPLA (2017).



Cabe destacar que en este documento se adopta el término 'plataforma' o 'plataforma continental' *sensu estricto* en su concepto geomorfológico, no jurídico<sup>1</sup>.

En la Figura 2 se presenta un esquema básico de la plataforma continental jurídica y su relación con el margen continental (cuando supera las 200 M desde las líneas de base desde las cuales se mide el mar territorial).



**Figura 2. Esquema básico de la plataforma continental jurídica y su relación con el margen continental (cuando supera las 200 M desde las líneas de base desde las cuales se mide el mar territorial). Fuente: COPLA (2017).**

## 1.1 ESTRUCTURA

En su mayor parte, las cuencas costa afuera de Argentina son manifestaciones de procesos extensivos de retro-arco del Triásico tardío/Jurásico temprano con una posterior respuesta de rifting en el Mesozoico superior relacionado con la ruptura del Gondwana. Luego, a lo largo del resto del Terciario, la región desarrolló características de margen pasivo, excepto en el extremo sur, donde se observa una faja plegada debido a la interacción de las placas Sudamericana, Scotia y Antártica durante el Cretácico superior y el Terciario.

La extensión del estadio de rift, asociada con la fase de separación temprana del Gondwana, contribuye a que las cuencas costa afuera de Argentina generalmente se dispongan perpendiculares a la costa debido a la naturaleza rotacional de la separación de la placa Sudamericana de la Africana al sur del Walvis / Río Grande Ridge. Al norte de éste las cuencas se disponen paralelas a la costa (ENARSA, s/f).

Las cuencas reconocidas en el margen continental argentino (de norte a sur) son: Salado, Colorado, Rawson, Golfo de San Jorge, San Julián, Austral (también denominada de Magallanes) y Malvinas y sus extensiones en el talud continental (Figura 3). El Área Operativa Sísmica (AOs) se encuentra ubicada en las cuencas Austral (o de Magallanes) y Malvinas.

<sup>1</sup> El límite exterior de la plataforma continental jurídica argentina corresponde al presentado ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLPC) -órgano científico integrado por 21 expertos internacionales y creado por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR). El límite fue aceptado por Consenso (sin votos en contra) por dicha Comisión el 16 de marzo de 2016.



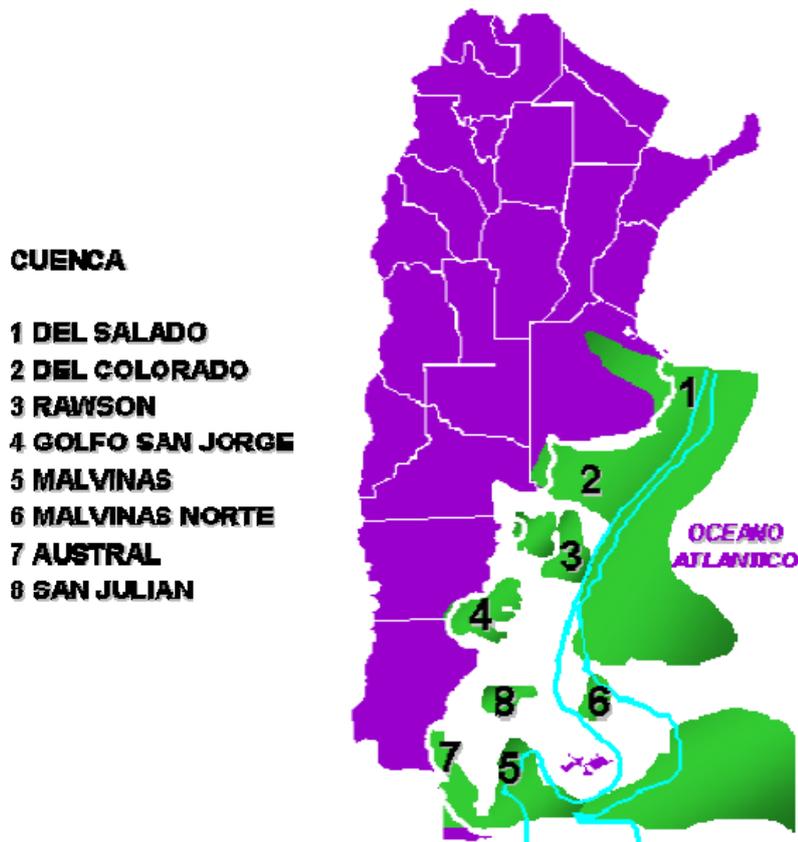


Figura 3. Principales cuencas sedimentarias del margen continental argentino. Fuente: ENARSA (s/f).

El Walvis / Río Grande Ridge, a medida que Sudamérica se mueve hacia el oeste con respecto a África, separa el Atlántico Sur en dos partes. La apertura hacia el norte es pequeña y angosta, mientras que hacia el sur es más amplia. Esto explica el desarrollo de espesos mantos salinos al norte de Walvis / Río Grande y su ausencia al sur.

En síntesis, los procesos extensionales de las cuencas costa afuera de Argentina están relacionados con la partición del Gondwana. Así, no obstante, la gran variedad de nombres para formaciones geológicas equivalentes y diferentes estilos estructurales observables en cuencas separadas, lo concreto es que el modelo tectono/estratigráfico es básicamente común, con sus particularidades. Solamente al llegar al extremo sur de la placa Sudamericana se desarrollaron procesos sedimentarios diferentes en lo que hoy son las cuencas Austral y Malvinas. En general, la carta tectono/estratigráfica de las cuencas costa afuera incluye una fase de pre-rift, que corresponde a rocas del Precámbrico y/o del Paleozoico, una fase de rift continental del Neocomiano al Aptiano y una fase de drift o deriva del Cretácico superior y Terciario.

La fase de rift da origen a un mosaico de fallas maestras E-W, en ocasiones interrumpidas por fallas antitéticas, creando una red de half grabens con algunos altos internos. Los estilos tectónicos resultantes pueden ser divididos en aquellos en los que el basamento está involucrado (fases de rift) y aquellos no vinculados al basamento (fases de drift).

Las áreas de sedimentación de estas cuencas están limitadas por rasgos estructurales mayores. En general, los depocentros de los rifts se localizan en áreas de plataforma, particularmente al norte de la línea Islas Malvinas/San Julián.



Las cuencas sedimentarias identificadas tienen continuidad en el continente, a excepción de las de Rawson, San Julián y Malvinas, que se desarrollan por completo bajo el Océano Atlántico.

Las cuencas Austral (o de Magallanes) y Malvinas son las más importantes del extremo sudoccidental del Océano Atlántico. La cuenca Austral abarca también un sector continental, la mitad este de la isla Tierra del Fuego, mientras que la cuenca Malvinas se ubica por completo en el océano, al este de la cuenca Austral (Tassone et al., 2008).

Las cuencas de antepaís Austral y Malvinas se desarrollaron sobre la corteza continental de Sudamérica y se localizan frente a los Andes Fueguinos, la región más austral de la Cordillera de los Andes. Este tramo de los Andes continúa hacia el este en la Dorsal Norte de Scotia a través del sistema de transferencia de la falla Magallanes-Fagnano (Lodolo et al., 2003). Las cuencas Austral y Malvinas están estructuralmente separadas por el alto de Dúngenés, una elevación del basamento que probablemente se desarrolló durante una fase de rift del Jurásico y se mantuvo durante la posterior evolución tectónica del Mesozoico y del Cenozoico (Zambrano y Urien, 1970).

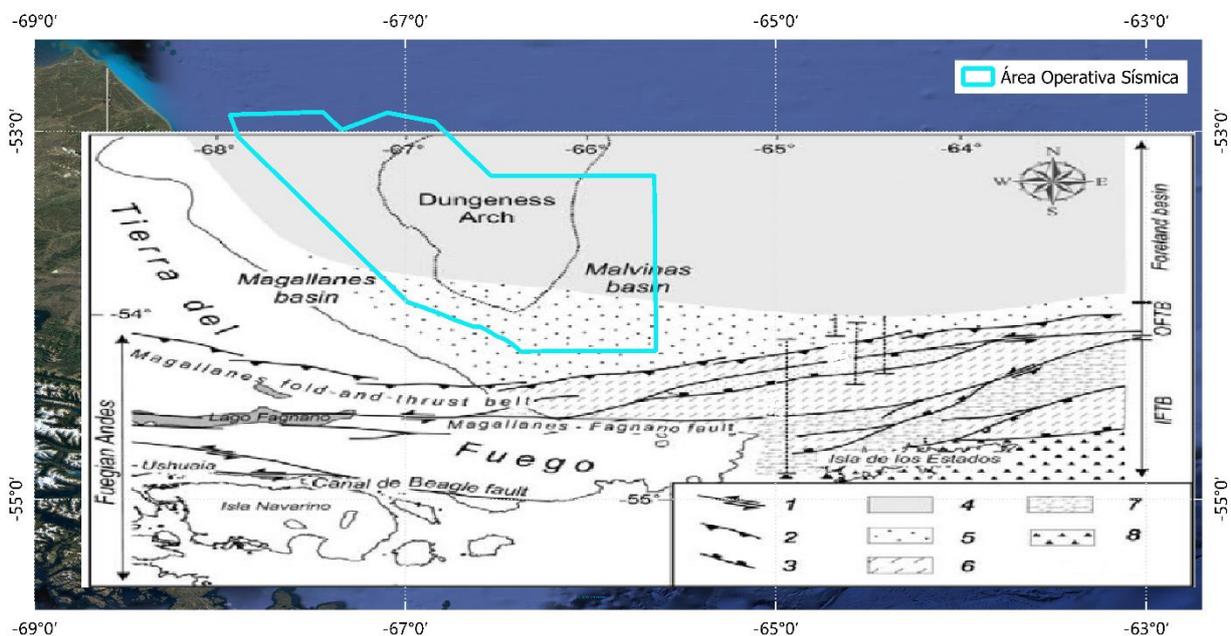
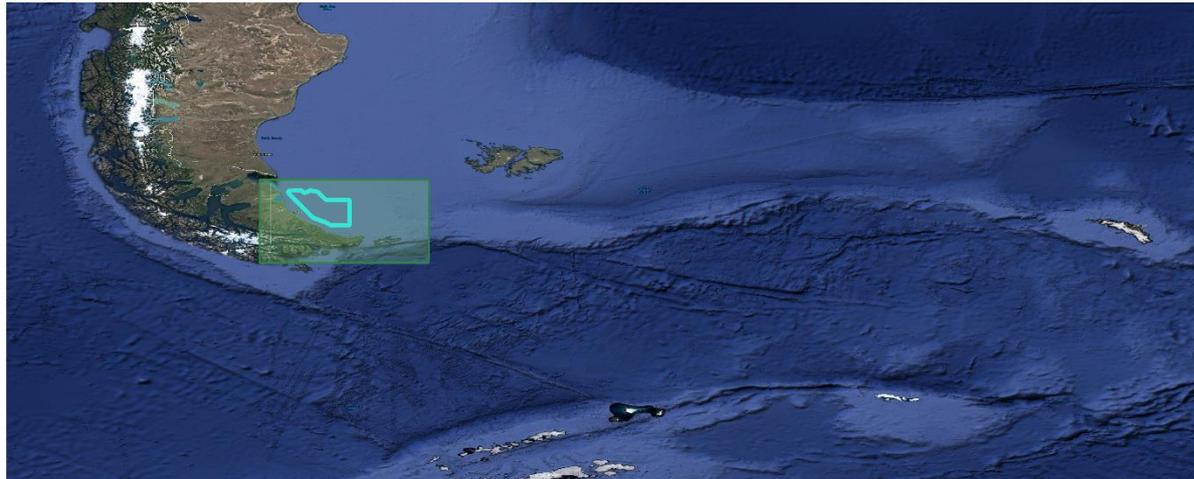
La evolución tectónica de la cuenca Austral está dividida en tres etapas (Richiano et al., 2012):

- Etapa de rift: se desarrolla durante el Jurásico superior como producto de la extensión generada por el impacto de una pluma mantélica sobre la litósfera patagónica;
- Etapa de sag: la subsidencia térmica se desarrolló durante el Cretácico inferior y en ella se registra la mayor transgresión marina en la cuenca; y
- Etapa de antepaís: se desarrolla en el Cretácico superior, relacionándose con el cierre de la cuenca marginal y el levantamiento de la Cordillera de los Andes.

Estructuralmente, costa afuera de Tierra del Fuego se distinguen tres grandes zonas (Tassone et al., 2008). Éstas son, de norte a sur (Figura 4):

- la zona no deformada de las cuencas de antepaís Austral y Malvinas (al norte y al este de la porción sur de la cordillera de los Andes);
- el cinturón de pliegues y cabalgamientos exterior (OFTB) e interior (IFTB); y
- las rocas cristalinas de la región austral de los Andes (Andes Fueguinos) del Paleozoico tardío - Mesozoico temprano sometidas a deformaciones y metamorfosis, que formaban parte del viejo complejo acrecional desarrollado a lo largo del margen pacífico del continente de Gondwana.





**Figura 4. Mapa estructural simplificado con los principales lineamientos de la región sur de Tierra del Fuego y su offshore atlántico. 1: falla de rumbo; 2: falla de cabalgamiento con el triángulo en el techo; 3: falla normal con las púas en la pared colgante; 4: sedimentos del Plio-Pleistoceno; 5: sedimentos del Mioceno; 6: sedimentos paleógenos; 7: metasedimentos del Cretácico; 8: Rocas metamórficas del Jurásico Superior; IFTB: faja interna de Magallanes plegada y corrida; OFTB: faja externa de Magallanes plegada y corrida; fault: falla; basin: cuenca. Fuente: modificado de Tassone et al., 2008.**

## 1.2 FACTORES QUE CONDICIONARON EL MODELADO Y SEDIMENTACIÓN EN EL MARGEN CONTINENTAL ARGENTINO

La configuración morfosedimentaria del Margen Continental Argentino (MCA) resultó de dos aspectos principales: en primer lugar, la herencia geotectónica dominada por los factores endógenos involucrados en la estructura y evolución del margen, entre los cuales parecen haber sido relevantes los procesos de flexohundimiento y, en segundo lugar, los factores externos condicionados por el clima y los procesos oceanográficos, los cuales fueron haciéndose con el tiempo más importantes que los endógenos pasando a ser dominantes en el Cenozoico y manifestándose fundamentalmente con las fluctuaciones glacioeustáticas del Cuaternario.



De esta manera, los rasgos morfosedimentarios de la plataforma continental argentina fueron adquiridos como resultado de la interacción de diversos factores como las fluctuaciones del nivel del mar, isostasia, clima, procesos oceanográficos, dinámica sedimentaria, morfología y composición del sustrato pre-transgresivo, siendo el proceso condicionante más relevante la transgresión postglacial, responsable de la configuración final de la plataforma, sus terrazas y su cobertura sedimentaria (Violante et al., 2014).

La historia geológica de la plataforma es más compleja que la de las regiones costeras; su extensión y escaso relieve han favorecido un profundo efecto modelador producto de las sucesivas transgresiones y regresiones marinas del Cuaternario, que le imprimieron variados rasgos morfosedimentarios (Violante et al., 2014).

El descenso del nivel del mar durante la última época glacial (ocurrida hace 18000 años) hizo que las aguas marinas retrocedieran hasta profundidades de unos 120 metros por debajo del nivel actual, de tal manera que la plataforma entera quedó expuesta a condiciones subaéreas, pudiéndose encontrar actualmente en su subsuelo restos de antiguas áreas continentales, relictos de redes fluviales, playas y suelos. El posterior ascenso intermitente del mar resultó en la conformación de terrazas marinas escalonadas a diferentes profundidades, que forman el lecho de la plataforma y están constituidas por sedimentos pertenecientes a las primitivas playas hoy sumergidas (Violante et al., 2014). Las interrupciones en la velocidad de ascenso del nivel del mar, con la consiguiente estabilización de la línea de costa por tiempos relativamente prolongados, permitieron el modelado de una superficie erosiva que conforma la base de cada terraza (Parker et al., 1997; Violante, 2005; Perillo y Kostadinoff, 2005; Ponce et al., 2011).

En el talud continental, debido a sus profundidades por debajo de los 120 metros, las variaciones del nivel del mar no tuvieron un efecto directo. Sin embargo, los cambios climáticos se manifestaron allí a través de variaciones en la circulación de las corrientes oceánicas. Estas corrientes son significativos procesos que influyen en la dinámica sedimentaria y en el modelado de la topografía submarina, dejando una fuerte impronta en los ambientes que estuvieron permanentemente sumergidos. El MCA está dominado por corrientes de origen subantártico que circulan de sur a norte a diferentes profundidades, siguiendo las isobatas (corrientes de contorno). La consecuencia de esa dinámica oceánica fue un transporte de sedimentos que conformó grandes secuencias sedimentarias a lo largo del margen, desarrollando depósitos denominados “contorníticos” que se manifiestan como acumulaciones en superficies aterrazadas (Violante et al., 2014).

Paralelamente, las altas pendientes del talud favorecieron la acción de procesos gravitacionales manifestados a través de corrientes densas de sedimentos (corrientes de turbidez) que se deslizan sobre el mismo, cavando cañones submarinos y produciendo depósitos turbidíticos y deslizamientos submarinos.

Los principales rasgos geomorfológicos, con la ubicación de las distintas terrazas, se presentan en la Figura 5 (MCA en su totalidad) y Figura 6 (detalle de la zona austral del MCA).



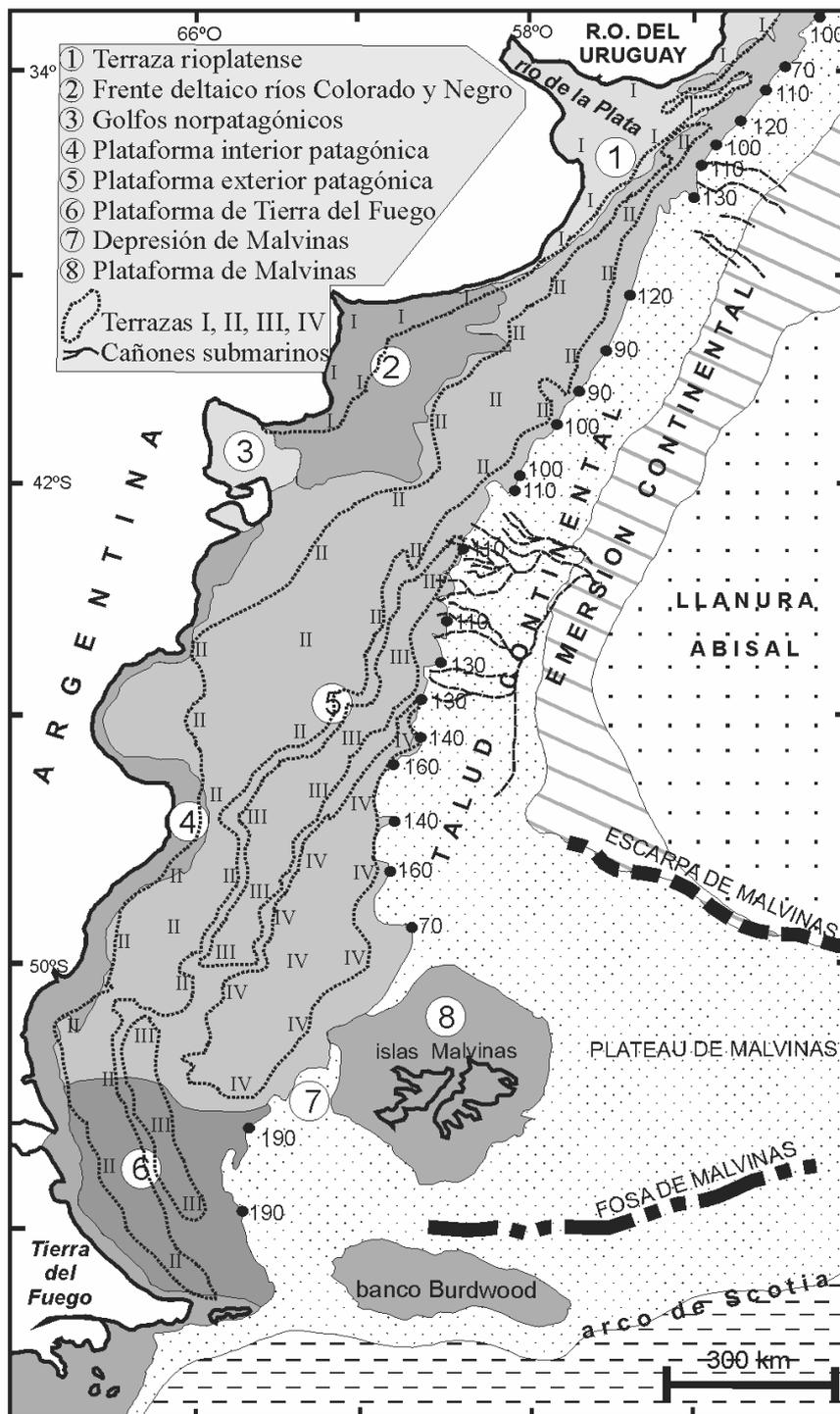


Figura 5. Mapa geomorfológico con indicación de las profundidades del quiebre de pendiente plataforma exterior-talud (puntos negros). Fuente: Violante et al., 2014 (modificado de Parker et al., 1996).



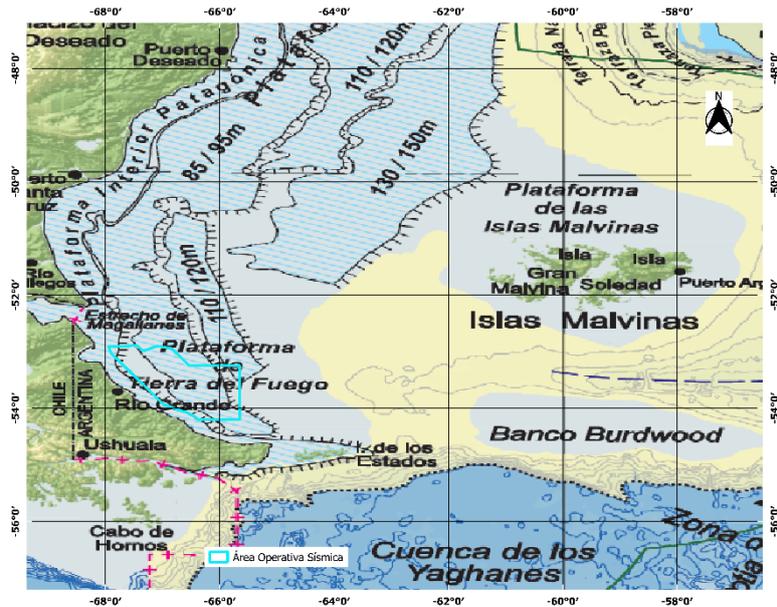


Figura 6. Rasgos geomorfológicos del margen continental en el área de estudio. Línea verde (a la derecha, arriba y abajo): 200 M. Fuente: modificado de COPLA (2017).

### Variabilidad paleoclimática desde el último máximo glacial

Los factores paleoclimáticos globales fueron esenciales en la evolución del extremo sur de Sudamérica durante las épocas glaciales y postglaciales, sumados a la influencia de factores regionales y locales tales como: a) las condiciones atmosféricas y consecuentes patrones de vientos impuestos por la variabilidad entre los anticiclones del Pacífico Sur y del Atlántico Sur; b) la cercanía de las masas de hielo antártico y los hielos continentales de los Andes del sur y su transformación en volúmenes de agua oceánica después de su derretimiento; c) la relación variable entre la superficie de tierras emergidas y sumergidas a través del ciclo glacial-postglacial, que llevó no solamente a una duplicación del continente durante el Último Máximo Glacial al quedar emergida la actual plataforma y a su progresiva reducción a la mitad de su extensión original en los tiempos postglaciales, sino también a consecuentes cambios climáticos (Violante et al., 2014). A escala global se consideran tres períodos caracterizados por particulares condiciones climáticas: Último Máximo Glacial, Glacial Terminal y Postglacial (Fleming et al., 1998).

Durante el Último Máximo Glacial, como resultado de la baja posición del nivel del mar se produjo el incremento de la superficie patagónica continental y la exposición subaérea de la plataforma (Clapperton, 1993; Rabassa, 2008).

El período Glacial Terminal se caracteriza por la ocurrencia de significativos y recurrentes cambios climáticos (con recesiones y avances glaciares) que marcaron la transición entre la época glacial y la actual.

El Postglacial representa el período que evolucionó hacia las condiciones climáticas actuales.

### Condiciones hidrográficas

Desde el punto de vista oceanográfico la plataforma continental argentina está dominada por masas de agua de origen subantártico que circulan de sur a norte, cuyos niveles superiores corresponden a la corriente de Malvinas, diluidas por los aportes fluviales y el balance evaporación-precipitación, por lo que pueden diferenciarse regiones con masas de aguas de diferentes salinidades (Perillo y Kostadinoff, 2005; Piola et al., 2010).



Frente a la provincia de Buenos Aires, a 38°S, esas masas de agua se encuentran con otras provenientes de zonas ecuatoriales que circulan de norte a sur -siendo la parte superior la corriente de Brasil-, generando ese encuentro la zona de confluencia (Piola y Gordon, 1989; Piola y Matano, 2001).

Las olas y mareas se constituyen en procesos esenciales en la dinámica sedimentaria en la zona litoral, variando en su importancia a lo largo de las costas. Tanto la altura de ola como la amplitud de la marea aumentan de norte a sur. La relación entre estos factores hace que mientras en las costas bonaerenses las olas de tormenta sean el factor dominante (D'Onofrio et al., 1999) condicionando el transporte y disponibilidad de arenas en la franja litoral, en las costas patagónicas la acción de las mareas es mucho más significativa, en función de su amplitud y velocidad de la corriente (Glorioso y Flather, 1997; Simionato et al., 2004).

La influencia fluvial en la plataforma continental argentina tiene al Río de la Plata como principal aporte de agua dulce, descargando entre 22000 y 25000 m<sup>3</sup>/s (Jaime et al., 2002; Giberto et al., 2004; Simionato et al., 2007). Este volumen de agua acarrea una carga sedimentaria en suspensión, transferida desde los ríos Uruguay y Paraná, del orden de 92 millones de toneladas anuales según Milliman y Meade (1983) y 79,8 según Giberto et al. (2004). De acuerdo a Campos et al. (2008b), 57 millones de toneladas anuales irían al océano. En menor grado aportan a la plataforma los ríos patagónicos, que en conjunto no exceden 2000 m<sup>3</sup>/s, destacándose como más importantes los ríos Negro (858 m<sup>3</sup>/s), Santa Cruz (691 m<sup>3</sup>/s) y Colorado (131 m<sup>3</sup>/s) (Gaiero et al., 2002; 2003).

Tanto los procesos oceanográficos como los fluviales han variado a través del tiempo. Los cambios paleoceanográficos pueden sintetizarse a partir de la variabilidad en las temperaturas oceánicas y el desplazamiento de las masas de agua entre los períodos glaciales e interglaciales. Estos cambios estuvieron significativamente influenciados durante la última glaciación por la transferencia de enormes volúmenes de agua desde las regiones marinas a las continentales donde se acumularon como masas de hielo, y en forma inversa por derretimiento de estas últimas durante las interglaciaciones (Violante et al., 2014).

### Variaciones del nivel del mar

La gran extensión de la plataforma continental argentina y sus regionalmente diferentes características hacen compleja la tarea de establecer una curva de variaciones relativas del nivel del mar como consecuencia de las complejas variables eustáticas, tectónicas e isostáticas que han intervenido en su evolución (Violante et al., 2014).

Diversos autores (ver recopilación en Violante y Parker, 2000; Cavallotto et al., 2004) han elaborado curvas, en diferentes regiones, de las posiciones de la línea de costa, esencialmente centradas en la regresión marina de los últimos 6000 años. Esas curvas evidencian la falta de coincidencia en los detalles de las fluctuaciones marinas, lo que puede considerarse como consecuencia de la influencia de factores locales (climáticos, isostáticos, etc.) en cada una de las regiones consideradas (Violante et al., 2014).

Rostami et al. (2000) afirmaron que existen diferencias en el comportamiento de las regiones norte y sur de la Patagonia, ya que las predicciones de las fluctuaciones del nivel del mar y los modelos de deglaciación coinciden para la primera pero no para la segunda, como consecuencia de la alta relación tierras emergidas/sumergidas dada por el excepcional ancho de la plataforma en el sur, como así también por la cercanía de la Antártida y la influencia de los mantos de hielo patagónicos, y por la ocurrencia de procesos tectónicos vinculados a las zonas de subducción y tectónica del no tan alejado margen chileno.



Sin embargo, es indudable que la velocidad de ascenso del nivel del mar ha tenido fluctuaciones, evidenciadas en relictos de paleolíneas de costas actualmente sumergidas que muestran la posición estacionaria que el mar ha tenido en determinados momentos. Posibles posiciones del nivel del mar en distintos momentos claves de la transgresión postglacial se presentan en la Figura 7 (Violante et al., 2014).

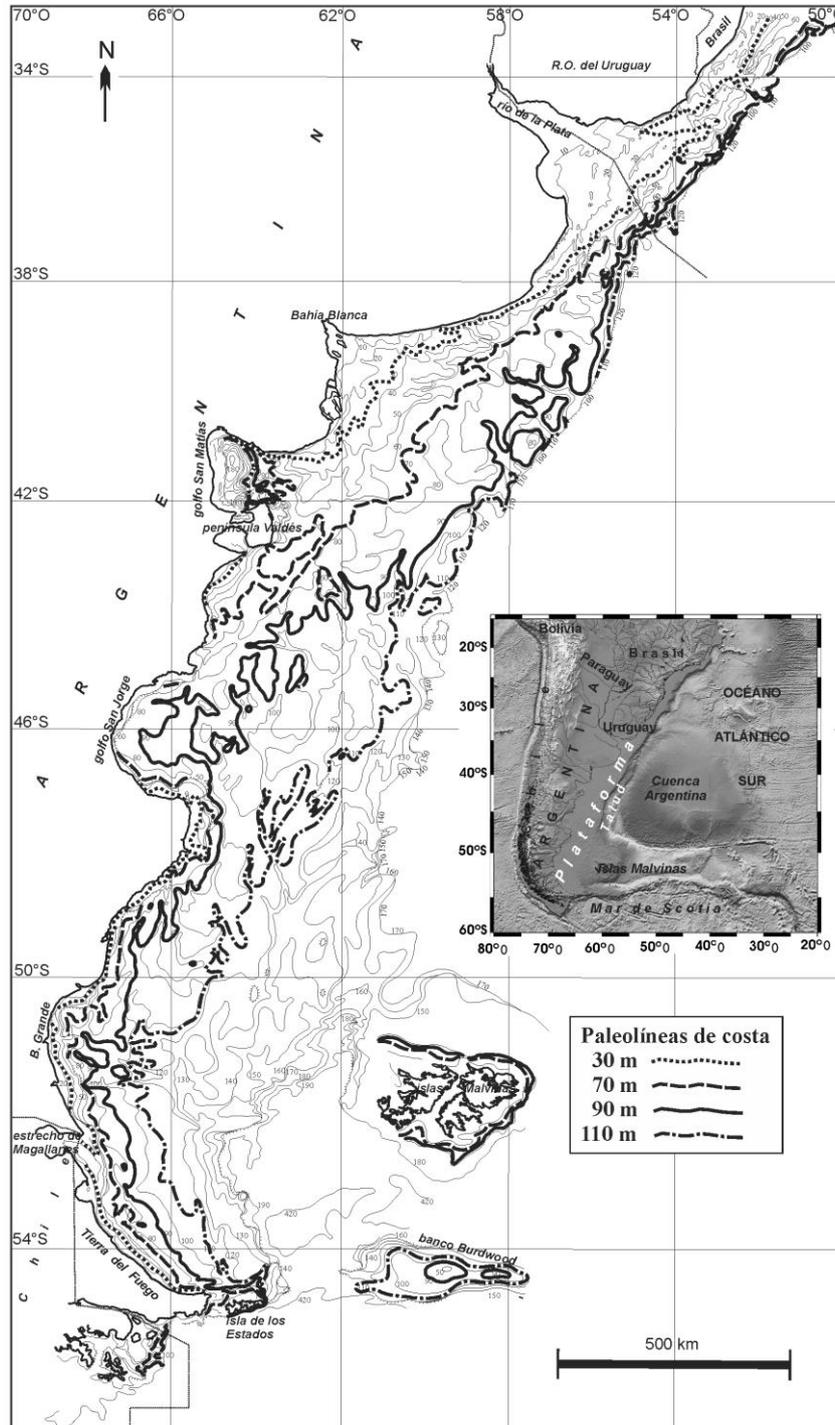


Figura 7. Mapa batimétrico de la plataforma, con indicación de paleolíneas de costas a diferentes profundidades. Se ilustran las de 30, 90 y 110 m según los detalles evidenciados en la plataforma bonaerense más la de 70 m que correspondería a la base de la terraza I, coincidente con el nivel del mar al momento de ocurrencia del período Younger Dryas. Fuente: Violante et al., 2014.



## Procedencia de sedimentos

La plataforma continental argentina recibe sedimentos terrígenos procedentes de dos áreas de aporte principales: la región andina y el escudo de Brasilia. Sin embargo, no deben descartarse aportes menores de las Sierras Pampeanas y otras regiones del centro de Argentina.

No obstante, la presencia de las dos asociaciones, el predominio de la primera es evidente en la mayor parte de la plataforma continental argentina, tal como queda documentado por la composición mineralógica a nivel regional (Marcolini, 2005), como también por análisis isotópicos (Mahiques et al., 2008; Noble et al., 2012) y de mineralogía de arcillas (Campos et al., 2008a).

La región andina fue afectada por intenso volcanismo Mesozoico y Cenozoico, cuyos productos de erosión fueron transportados hacia el este por acción fluvial y eólica, esta última también interviniendo en la movilidad de cenizas volcánicas y materiales piroclásticos. Todos estos materiales fueron depositados y retransportados en las regiones pampeana y patagónica a través de diversos ciclos sedimentarios multigenéticos hasta que finalmente alcanzaron las costas y el mar (Violante y Rovere, 2005). La asociación mineralógica resultante fue definida como asociación volcánico-piroclástica (Teruggi, 1954; Etchichuri y Remiro, 1963; Gelos et al., 1988).

El análisis de la concentración de elementos mayoritarios en sedimentos superficiales del margen continental argentino documenta, desde los aspectos geoquímicos, el origen terrígeno de los mismos (Frenz et al., 2004; Mahiques et al., 2008; Chiessi et al., 2009; Govin et al., 2012).

## Dinámica sedimentaria

Dada la composición terrígena de los sedimentos que componen la plataforma, la dinámica sedimentaria debe ser considerada en forma integral abarcando tanto los procesos continentales que inciden en la costa como así también los litorales y marinos.

Los sedimentos son introducidos en el sistema dinámico litoral desde el continente adyacente de diferentes maneras, tanto por transporte fluvial y eólico como por erosión costera, para ser posteriormente transferidos hacia la plataforma.

No obstante, en el caso del transporte fluvial y eólico (este último incluyendo tanto el aporte de sedimentos por erosión eólica como también tefras y cenizas originadas en erupciones andinas) puede ocurrir un bypass que los lleve directamente hacia las zonas profundas sin estacionarse en el sistema litoral. Durante la transgresión postglacial estos procesos han ocurrido en cada etapa del ascenso eustático, con variantes en función de la velocidad de ascenso, factores climáticos, circulación oceánica, procesos litorales y cambios en los aportes sedimentarios. La transgresión postglacial actuó sobre un substrato Neógeno-Cuaternario poco consolidado provocando el progresivo barrido de su superficie por la acción erosiva de las olas y corrientes litorales con el consecuentemente rápido retroceso costero, manifestado a través de una alta tasa de erosión de la costa y transferencia de sedimentos hacia los fondos marinos adyacentes (Urien y Ewing, 1974; Parker y Violante, 1982; Violante y Parker, 2000, 2004; Perillo et al., 2005; Parker et al., 2008). En la plataforma, los depósitos resultantes sobre la superficie de erosión (Swift, 1968), son palimpsestos o relictos de acuerdo a cómo hayan sido o no afectados por las condiciones hidrodinámicas.



El aporte total de sedimentos terrígenos a la plataforma por acción directa de los agentes de transporte fue estimado en  $70 \times 10^6$  ton/año (Pierce y Siegel, 1979; Gaiero et al., 2003), de los cuales  $39 \times 10^6$  ton/año (56%) corresponden a erosión costera,  $29 \times 10^6$  ton/año (41%) a transporte eólico y  $2 \times 10^6$  ton/año (3%) a actividad fluvial. Isla y Cortizo (2005) estimaron valores muy distintos ( $243,8 \times 10^6$  ton/año) para los sedimentos erosionados de los acantilados patagónicos e introducidos al mar, aunque sin duda deben considerarse importantes diferencias entre regiones, dependientes de factores locales.

Las redes fluviales transportan hacia las zonas costeras volúmenes sedimentarios relativamente reducidos, ya que los ríos más pequeños tienen poca capacidad de transporte mientras que los más caudalosos generalmente desembocan en ambientes estuáricos que retienen buena parte de los detritos. La mayor capacidad fluvial durante épocas pasadas está evidenciada no solamente por el tamaño desproporcionado de los valles en el continente respecto a los caudales actuales, sino también por la gran cantidad de gravas de origen glacial que tapizan la plataforma patagónica (Perillo y Kostadinoff, 2005).

Las olas y mareas, especialmente bajo condiciones de tormenta, son capaces de removilizar grandes volúmenes de sedimentos (Perillo y Kostadinoff, 2005), como queda documentado por los campos de ondas de marea que ocupan algunos sitios de la plataforma donde las velocidades son mayores (Servicio de Hidrografía Naval, 1961; Urien y Ewing, 1974; So et al., 1974; Perillo y Kostadinoff, 2005).

Con relación al transporte por corrientes litorales, la circulación neta es hacia el norte, a excepción de células locales de circulación opuesta influenciada tanto por la morfología de la línea de costa como por los aportes fluviales.

Teniendo en cuenta la dinámica sedimentaria imperante en la plataforma, Violante (2004) siguiendo los conceptos de Swift (1976) la consideró como de régimen sedimentario pasivo de carácter autóctono.

### 1.3 ESTRATIGRAFÍA Y ESPESOR SEDIMENTARIO

Las cuencas Austral y Malvinas corresponden a la conjunción de dos depocentros: el de Malvinas, desarrollado en la actual plataforma, y el de Austral que se emplaza costa adentro. El alto de Dúngenes, extensión sur del macizo del Deseado, separa ambas cuencas. Dúngenes es una elevación tectónica formada probablemente a fines del Cretácico-Cenozoico (COPLA, 2017).

El basamento de estas cuencas es complejo, de origen volcánico, sobre el que se formó un relleno sedimentario que se inicia en el Mesozoico (Jurásico medio-superior y Cretácico), con facies no marinas, de alto contenido piroclástico y que continúa en el Cenozoico.

En el Mesozoico se desarrolló un relleno sedimentario formado por mares someros del Jurásico superior y Cretácico inferior, asociado con sucesivos eventos transgresivos y regresivos, para posteriormente pasar a una sedimentación marina profunda (COPLA, 2017).

El relleno sedimentario se inicia con la depositación de arenas continentales, seguidas por arenas y lutitas marinas costeras, que cubren casi en toda su extensión la plataforma regional. Posteriormente se produce la inundación de aguas marinas anóxicas del mar de Weddell que depositan fangos salobres. Esta gran transgresión continúa en facies marinas francas con una depositación de sedimentos marinos de grano fino en sucesivas secuencias hasta el Cretácico superior y Cenozoico inferior.



Durante el Cretácico medio-tardío se desarrolla una fase regresiva con depositación de cuñas arenosas. La subsidencia térmica regional favorece el ingreso de sucesivas transgresiones marinas que persistieron durante todo el Cretácico. Los mares se profundizaron y la sedimentación se produjo en un ambiente anóxico, nerítico exterior a medio, con una abundante fauna marina de pelecípodos y amonites de edad cretácica tardía.

Los aspectos estratigráficos más recientes de la plataforma continental argentina, así como los rasgos resultantes de la transgresión postglacial que le imprimieron sus características morfosedimentarias presentes, se describen a continuación.

La estratigrafía de los niveles superiores del subsuelo de la plataforma continental argentina está representada por secuencias sismoestratigráficas del Plioceno superior - Holoceno (Parker et al. 1999; 2008).

Se reconocen tres cortejos depositacionales:

- pre-transgresivo, de nivel de mar bajo;
- transgresivo (entre el momento en que el nivel del mar ocupó su posición más baja durante el Último Máximo Glacial hasta que llegó a su máximo nivel hace ~6.000 años); y
- de nivel de mar alto.

El substrato pre-transgresivo (de nivel de mar bajo, durante el Último Máximo Glacial) constituía una extensa planicie subaérea con características morfológicas, hidrográficas, edafológicas y biológicas semejantes a las actuales regiones pampeana y patagónica, aunque bajo condiciones impuestas por los climas imperantes.

De acuerdo con Violante y Parker (2000; 2004) los principales rasgos pre-transgresivos reconocidos en la plataforma son paleolíneas de costas, valles fluviales sumergidos, geoformas glaciogénicas, paleosuelos y otras evidencias de depósitos continentales.

Si bien el avance del mar durante la etapa transgresiva modificó sustancialmente aquella superficie, no borró totalmente los rasgos subaéreos previos, que quedaron parcialmente preservados. El relieve pre-transgresivo muestra evidencias de niveles aterrazados heredados de procesos erosivos posiblemente asociados a estabilizaciones momentáneas del nivel del mar durante transgresiones precedentes a la última (Costa et al., 2012). Esos relieves han quedado como relictos aún después del modelado final durante la transgresión postglacial. En el borde exterior de algunas de las terrazas de la plataforma se desarrollan acumulaciones sedimentarias relictas que revelan la presencia de antiguas líneas de costas o paleocostas, hoy sumergidas.

Las características de la superficie transgresiva son el resultado de: a) el relieve y constitución litológica del substrato; b) los procesos subaéreos durante etapas pre-transgresivas (costeros, fluviales, eólicos, lacustres, formación de suelos y procesos físico-químicos asociados como desecación y oxidación); c) velocidad y variabilidad del ascenso relativo del nivel del mar; d) tipos de ambientes litorales desarrollados en diferentes regiones y su variabilidad a través del tiempo; y e) balance erosión-depositación en cada etapa de la transgresión, el cual dependió de la dinámica litoral, la acomodación al nivel de base en ascenso y el aporte sedimentario.



Violante y Parker (2000; 2004) describieron las posibles variantes reconocidas en los paleoambientes sedimentarios según la posición relativa del nivel del mar durante las diferentes etapas de la transgresión, pudiendo variar ellos desde ámbitos exclusivamente formados por sedimentos marinos en las partes más profundas de la plataforma a diferentes relaciones entre ambientes marinos, litorales y continentales a medida que las secuencias se acercan al continente.

La unidad estratigráfica más reciente del subsuelo de la plataforma continental argentina corresponde al paquete sedimentario post-Último Máximo Glacial con una edad entre ~18 ka y el presente (Violante et al., 1992; Parker et al., 1999; 2008; Violante y Parker, 2000; 2004), definida como una secuencia depositacional (o unidad sismoestratigráfica) identificada mediante relevamientos sísmicos de alta resolución efectuados en las áreas marinas del este bonaerense. La secuencia se extiende desde el borde exterior de plataforma (y aún sectores del talud superior) hasta las llanuras costeras, estando limitada en su base por la superficie transgresiva, mientras que su tope está representado por la superficie topográfica actual. Su espesor promedia unos 5 m a 10 m, siendo mayor en la plataforma bonaerense donde llega a 10-15 m y menor en la patagónica donde generalmente no excede los 5 m, teniendo aquí una distribución discontinua (Urien y Ewing, 1974; Parker et al., 1996, 1997; Urien et al., 2003). La configuración sísmica interna de la secuencia es en general de carácter caótico y no transparente, indicando alto contenido de arena, aunque en aquellos lugares donde incrementa su proporción de fangos, como en ambientes estuáricos, es transparente o libre de reflexiones internas.

La Tabla 1 sintetiza los niveles y subniveles de las terrazas indicadas en la Figura 5 y sus características morfosedimentarias. La terraza presente en la zona de estudio es la denominada II, con una cobertura sedimentaria compuesta por arenas finas a muy finas algo fangosas y por arenas finas a medianas con concentraciones de gravas en su borde offshore.

La Tabla 2 muestra los tipos litológicos, distribución y otros aspectos de la cobertura sedimentaria de la plataforma basado en las descripciones de Parker et al. (1997). Para el área de estudio se describe la presencia de arenas (de origen terrígeno de carácter relíctico a palimpseptico) y de gravas (originadas en depósitos glaciales).

La Tabla 3 indica los subambientes de plataforma y las regiones geográficas diferenciadas por los procesos dominantes. En el área de estudio se menciona la marea como proceso predominante y se destaca la posición cercana a la costa que alcanzaron los glaciares durante etapas de mar bajo, con la consecuente cobertura parcial de la plataforma por depósitos glaciales.

Como lo mencionan Perillo y Kostadinoff (2005), las terrazas más profundas contienen sedimentos más gruesos que aquellas más someras, hecho compatible con la mayor dinámica fluvial y capacidad de transporte hacia la plataforma en tiempos cercanos a la última glaciación.



**Tabla 1. Niveles de terrazas. Fuente: Violante et al., 2014 (ampliado a partir de las descripciones de Parker et al., 1997 y Violante, 2005).**

Terraza	Extensión	Sub nivel -Prof.	Expresión morfosedimentaria
I	Longitud: 900 km al este de la región pampeana entre 35° y 42°S (interrumpida a la latitud de Mar del Plata). Ancho: 150 km en la boca del Río de la Plata y 100 km frente a Bahía Blanca.	A	Superficie mayor de la terraza. Sector norte (terrace Rioplatense): se extiende hasta Necochea, y en su sector septentrional está asociada a antiguas facies deltaicas del Río de la Plata (Parker <i>et al.</i> 1999, 2008, Violante y Parker 2000, 2004). Sector sur (Bahía Blanca-San Blas): asociado a antiguas facies deltaicas de los ríos Colorado y Negro (Spalletti e Isla 2003, Melo <i>et al.</i> 2003). También en reducidos sectores adyacentes a las costas patagónicas como en Puerto Deseado. Constitución sedimentaria: arenas finas a medianas. Concentraciones de conchillas en cordones elongados en borde exterior de terraza.
		B	Pequeño nivel aterrazado en la parte media del escalón exterior de la terraza Rioplatense.
		C	En la base del escalón exterior de la terraza. Frente a Bahía Blanca está desdibujada por facies deltaicas sumergidas de los ríos Colorado y Negro. Niveles equivalentes se desarrollan en sectores de la plataforma patagónica (península de Valdés, golfo San Jorge y <i>offshore</i> Tierra del Fuego).
II	Longitud: 2500 km entre el Río de la Plata y Tierra del Fuego (35° a 55°S). Ancho máximo de 200 km.	D	Terraza muy extensa, muy bajo gradiente y escaso relieve, alcanza su mayor expresión entre Mar del Plata y península de Valdés. Cubierta por arenas finas a muy finas algo limoarcillosas, gris verdoso oscuras.
		E	Rampa de suave pendiente extendida al sur de península de Valdés, adquiere su mayor expresión y configuración subhorizontal al sur del río Santa Cruz. Cubierta por arenas finas a muy finas algo fangosas de colores muy oscuros.
		F	Muy extensa y subhorizontal, disectada por canales y surcos erosivos que representan una antigua red fluvial parcialmente obliterada por depósitos modernos. Cobertura de arenas finas a medianas con concentraciones de gravas en la región <i>offshore</i> del sur de Patagonia.
III	Longitud: 1200 km entre 43 y 54°S. Ancho máximo de 100 km.	110- 120 m	Relieve muy uniforme con evidencias de posible red fluvial relicto. A esta profundidad se manifiestan pequeños escalones frente al Río de la Plata, sin desarrollar importantes expresiones regionales. Cobertura de arenas bioclásticas y gravas de posible origen glacialfluvial.
IV	Longitud: 200 km al oeste de las Islas Malvinas (46° a 52°S). Ancho: 100 km.	130- 150 m	Reducida expresión regional. A esta profundidad se manifiestan pequeños escalones frente al río de la Plata, sin desarrollar importantes expresiones regionales. También cubierta por arenas bioclásticas y gravas.



**Tabla 2. Tipos sedimentarios de la plataforma. Fuente: Violante et al., 2014 (ampliado a partir de las descripciones de Parker et al., 1997).**

Tipo	Area	Descripción	Distribución regional	Morfologías	Origen
Arena	65 %	Arenas finas a medianas. Arena gruesa y muy fina subordinada. Bioclásticos subordinados. Sedimentos sueltos, texturalmente maduros, moderados a bien seleccionados, colores amarillentos, castaños y grisáceos.	Offshore norte y centro de Patagonia: fracciones finas a medianas. Offshore región pampeana y Tierra del Fuego: fracciones medianas a gruesas. Áreas costeras semicerradas (Río de la Plata, Bahía Blanca, golfos norpatagónicos): arenas muy finas parcialmente fangosas.	En general: mantos arenosos. En cabo San Antonio: relictos de barreras litorales y cordones de playas, dunas subácuas y bancos alineados formados por acción de corrientes de marea. Bahía Blanca-golfo San Matías: dunas subácuas gigantes. Desembocaduras de Río de la Plata y Colorado: sistemas deltaicos sumergidos.	Sedimentos terrigenos de carácter relictico a palimpsestico.
Conchillas	12.5 %	Conchillas fragmentadas y enteras (hasta varios cm), restos de pelecipodos, braquiópodos, artrópodos, peces, equinoideos. Sedimentos sueltos, semiconsolidados o cementados (a veces coquinas).	Al norte de 43°S.	Cordoniformes	Antiguas líneas de playas a diferentes profundidades (hasta el borde de plataforma) asociadas a fluctuaciones del nivel del mar.
Gravas	12.5 %	Rodados de hasta varios cm de diámetro, composiciones muy variadas.	Offshore de la desembocadura de rios patagónicos y en gran parte de plataforma del sur patagónico.	No evidente.	Depósitos glaciafluviales por acción glacial en Patagonia durante épocas glaciales.
Fangos	8 %	Arcillas y limos, frecuentemente con altas concentraciones de materia orgánica. Predominantemente cohesivos, colores gris verdoso oscuro.	En ambientes costeros semicerrados (estuarios, bahías, golfos)	No evidente.	Deposición en ambientes de muy baja energía.
Sedimentitas y rocas	2 %	Afloramientos del sustrato	Muy saltuario.	En muchos casos constituyen elevaciones significativas del fondo.	Relictos del sustrato pretransgresivo.

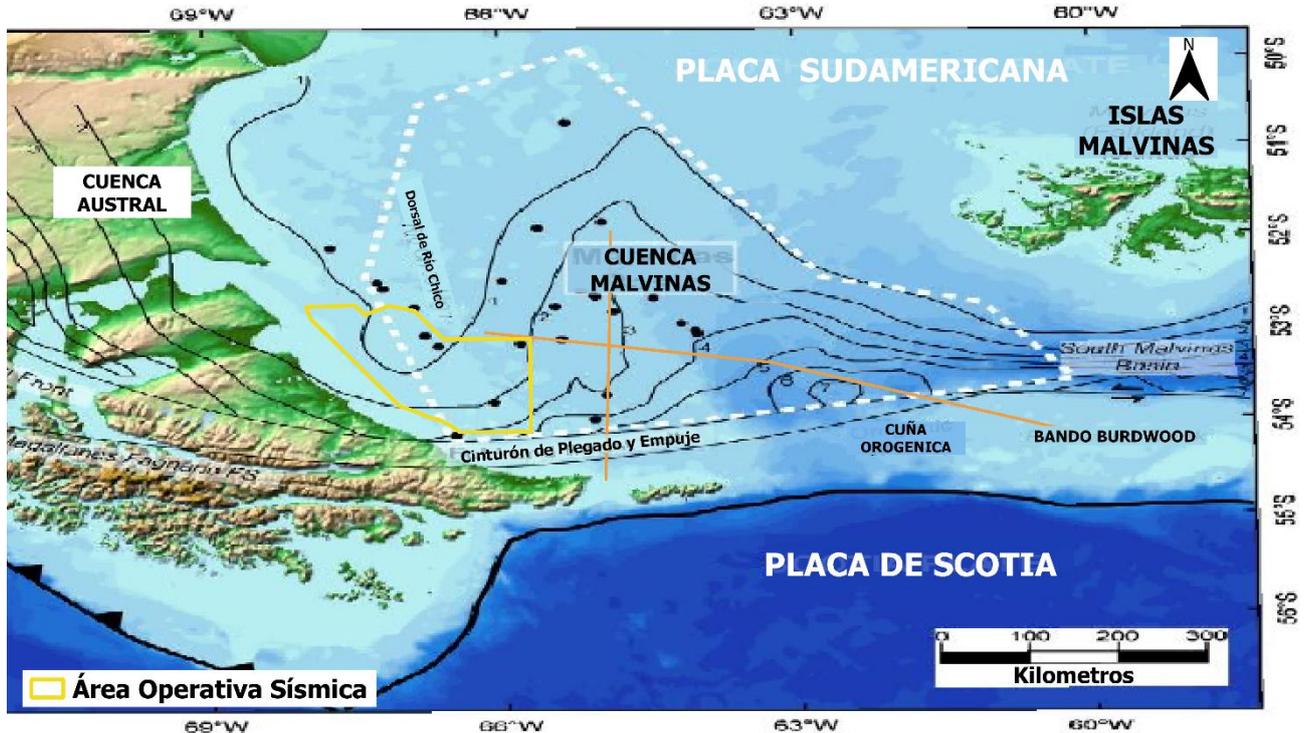
**Tabla 3. Subambientes y regiones geográficas de la plataforma. Fuente: Violante et al., 2014.**

Subambientes de plataforma		
Interior	De la línea de costa hasta 30 m.	Sedimentos ajustados a las actuales condiciones hidrodinámicas (palimpsestos). Formas de fondo activas influenciadas por sedimentación costera, corrientes litorales, olas y mareas (macizos de retroceso costero, bancos alineados, dunas subácuas). Este subambiente está mejor definido en la terraza Rioplatense.
Media	Entre 30 y 90 m.	Áreas sedimentológicamente más estables con baja movilidad de sedimentos (relictos). Gran parte de la plataforma patagónica es de este tipo.
Exterior	Entre 90 m y el borde exterior de plataforma.	Dinámica sedimentaria asociada a la transición plataforma-talud. Dominan corrientes de borde y procesos gravitacionales propios del talud superior, e influenciados por cabeceras de cañones submarinos.
Regiones geográficas diferenciadas por los procesos dominantes		
Norte	De la línea de costa hasta 30 m.	Domina actividad fluvial por sobre los procesos marinos por la influencia del Río de la Plata, activo desde el Plioceno. Los efectos por acción de olas son subordinados. Fuera de la zona dominada por el Río de la Plata se desarrollaron, durante etapas de nivel del mar más bajo que la actual, costas de barreras litorales con extensas playas, llanuras de mareas y lagunas costeras.
Central	Entre 30 y 90 m.	Predominio de la acción de la ola al norte y de mareas al sur. La influencia fluvial es menor y solamente de importancia local como proveedor de sedimentos a la plataforma. El retroceso costero ocurrió como resultado del balance entre las variaciones glacioestáticas y el ascenso isostático, que modelaron una superficie de <i>ravinement</i> (Swift 1968) cubierta por arenas relictas. Estos sedimentos relictos provienen del retrabajo de ambientes costeros desarrollados durante etapas de bajo nivel del mar, representados por sistemas de barreras arenosas y lagunas costeras fangosas con arenas gruesas y gravas en las desembocaduras fluviales, en parte caracterizadas por deltas, y fangos en los ámbitos semicerrados dominados por estuarios y llanuras mareales. Un rasgo importante de este segmento lo representan los cañones submarinos del talud adyacente, que debe suponerse estaban muy activos durante el Último Máximo Glaciar cuando los procesos costeros se ubicaban cerca de sus cabeceras.
Sur	Entre 90 m y el borde exterior de plataforma.	Predominio de mareas por sobre las olas. El sector continental adyacente experimentó parcial cobertura de hielos durante épocas glaciales, los glaciares alcanzaron posiciones cercanas a la costa durante etapas de mar bajo (Isla y Schnack 1995, Rostami et al. 2000, Mouzo 2005, Coronato et al. 2008, Ponce et al. 2011) y la plataforma fue parcialmente cubierta por depósitos glaciafluviales.



Baristeas et al. (2013) estudiaron la estratigrafía del sector más occidental de la cuenca Malvinas y su límite con la cuenca Austral (Figura 8).

Estos autores identificaron y correlacionaron con las principales fases tectónicas del Mesozoico al Cenozoico cinco unidades sismo-estratigráficas principales y subunidades, U1 a U5a/b (Tabla 4).



**Figura 8. Área estudiada por Baristeas et al. (2013) en las cuencas Austral y Malvinas (polígono de línea blanca rayada). Las líneas negras corresponden a las isopacas, cuyos valores se indican en km, los círculos negros corresponden a perforaciones realizadas y las líneas naranjas representan las derrotas de dos líneas sísmicas. El polígono amarillo indica el Área Operativa Sísmica del presente proyecto. Fuente: modificado de Baristeas et al., 2013.**

La unidad U1 representa el basamento sísmico. Las unidades más recientes, U5a y U5b (42,5-5,5 Ma y 5,5-0 Ma respectivamente), representan un cambio del patrón sedimentario de agradación a progradación) con tasas de acumulación de sedimentos muy superiores a las ocurridas en épocas previas. La sucesión sedimentaria Oligoceno-Mioceno (U5a) comprende doce secuencias. El techo de la misma corresponde a la *discordancia* del Mioceno tardío (5,5 Ma), la cual es seguida por el paquete sedimentario del Plioceno a la actualidad (U5b). Los sedimentos de estos intervalos pre recientes y recientes consisten en lithic- y glauconitic sandstones, limestones, claystones y tuffs (Baristeas et al., 2013).

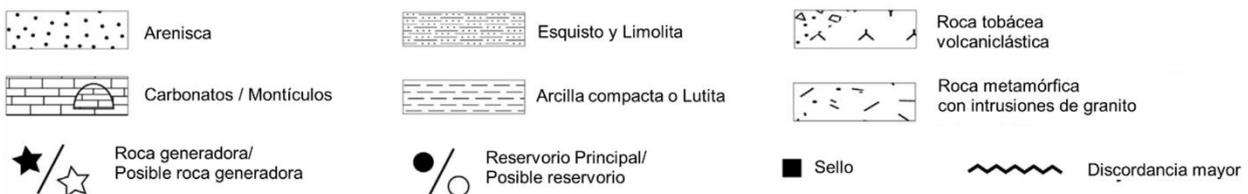
La unidad U5a presenta dos depocentros: un depocentro con orientación NNE-SSO y espesor sedimentario de 600-850 m y, en el sector sur, un depocentro con orientación ENE-WSW y mayor espesor de sedimentos (700-2400 m). Durante el desarrollo de la unidad U5b, estos dos depocentros migraron hacia el SE y NE formando un único depocentro de forma elíptica (Figura 9), con un espesor de sedimentos de unos 500-1500 m, mientras que los sedimentos del oeste y el norte sufrieron un proceso de erosión.

Este proceso de erosión se manifiesta en la no evidencia de la unidad U5b en una línea sísmica con orientación O-E (ubicación en Figura 8), mientras que esta unidad sí se observa todo a lo largo de una línea sísmica con orientación N-S (ubicación en Figura 8). La Figura 10 muestra estas dos líneas sísmicas interpretadas.



**Tabla 4. Cronoestratigrafía representando los principales elementos de sistemas petrolíficos, megasecuencias, unidades sísmicas, discordancias y fases tectónicas. Fuente: Baristea et al. (2013).**

Edades Gradstein et al. (2004)	Era Sistema Período	Etaapa/Edad modificado después de Galeazzi (1998) e Yrigoyen (1989)	Litoestratigrafía generalizada modificado después de Galeazzi (1998) e Yrigoyen (1989)	Mega secuencias (MS) y principales discordancias después de Galeazzi (1998)	Unidades Sísmicas definidas por Tassone	Fases Tectónicas después de Galeazzi (1998) y Tassone et al. (2008)	Unidades Sísmicas definidas por Baristea	
5.33	Neogene	Plioceno		~5.5 Ma <b>MS5</b>	Unidad 5b	<b>Fase Antepaís</b>	U5b	
23.03		Mioceno			~12.5 Ma		Unidad 5a	~5.5 Ma
33.9		Oligoceno			Unidad 5a		U5a	
55.8	Paleogene	Eoceno		~42.5 Ma <b>MS4</b>	Unidad 4	<b>Fase Transición Antepaís</b>	~42.5 Ma	
65.5		Paleoceno			Unidad 4		U4	
70.6	Upper Cretaceous	Maastrichtian		~68 Ma <b>MS3</b>	Unidad 3	<b>Fase Hundimiento</b>	~68 Ma	
83.5		Campanian						Cabeza de Leon Fm and Arroyo Alpha Fm
85.5		Santonian						Inoceramus superior
88.6		Coniacian						
93.6		Turonian						
99.6		Cenomanian						
112		Albiano						Nueva Argentina Fm = Margas Verdes Fm
125		Aptiano						
130		Barremiano						Pampa Rincon Fm = Inoceramus inferior Fm
145.5		Lower Cretaceous						Hauteriviano
145.5	Valanginiano		~116.5 Ma					
145.5	Berriasiense			~150.5 Ma <b>MS1</b>	Unidad 2	<b>Fase Pre-rift</b>	~150.5 Ma	
145.5	Jurásico Tardío	Tobifera Fm	~139 Ma	Unidad 2	U2			
145.5	Jurásico superior y medio			~168 Ma	Unidad 1	<b>Fase Pre-rift</b>	~168 Ma	
145.5	Jurásico inferior	Basamento	~178 Ma	Unidad 1	U1			



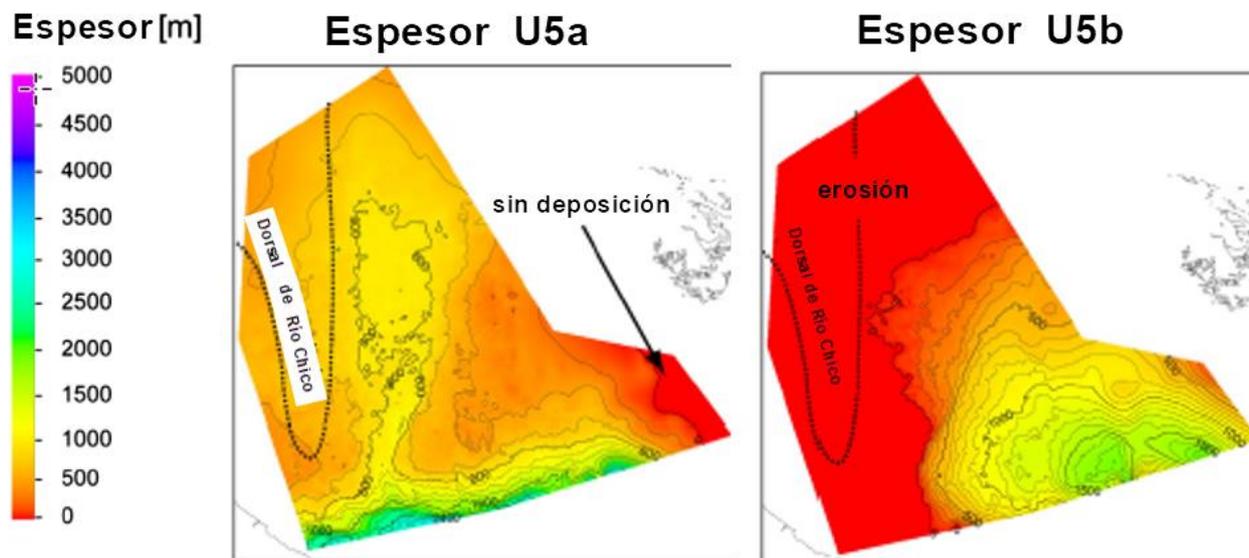



Figura 9. Espesor sedimentario de las unidades U5a/b. Fuente: Baristeas et al. (2013).

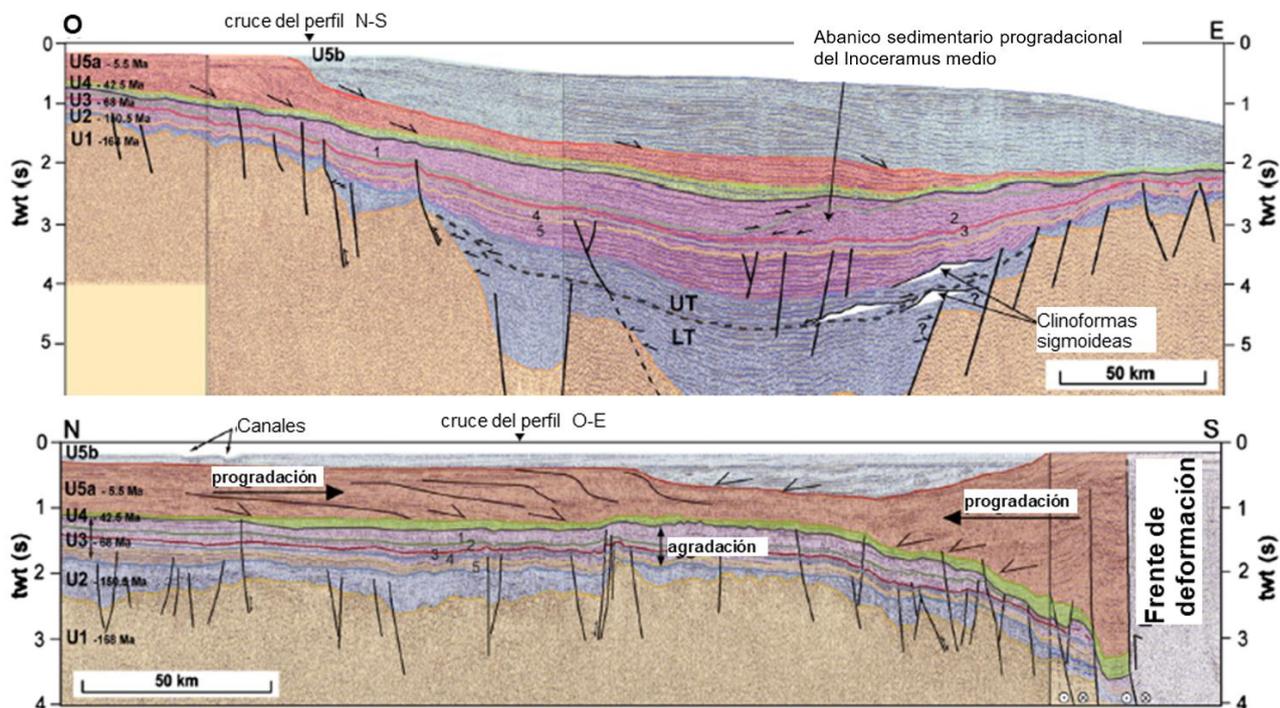
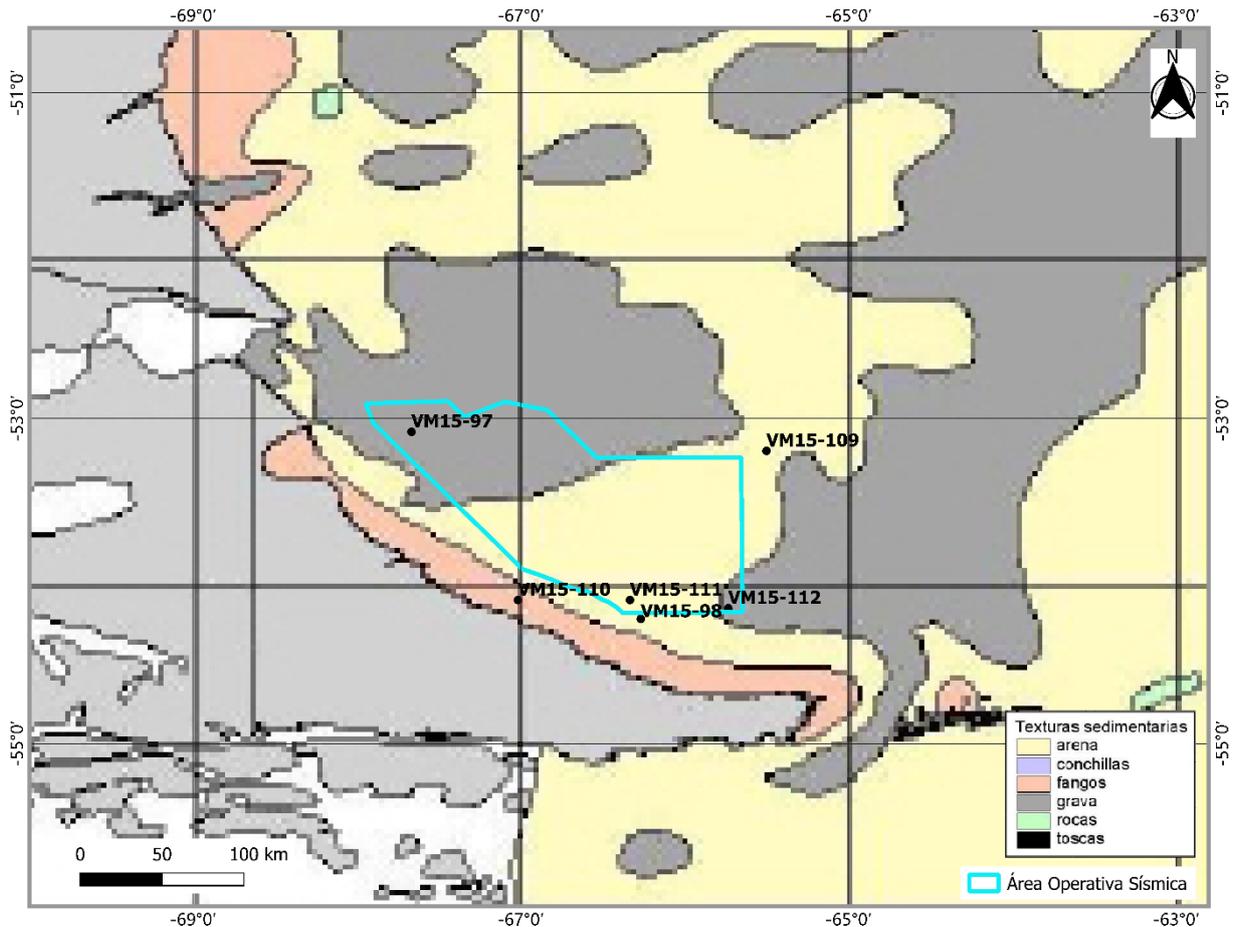


Figura 10. Líneas sísmicas O-E (arriba) y N-S (abajo) interpretadas. Ver ubicación en Figura 8. Fuente: Baristeas et al. (2013).

La cobertura sedimentaria superficial de la plataforma argentina está formada esencialmente por arenas, que cubren alrededor del 65% de su superficie, siguiendo en proporción las conchillas y gravas con una participación de aproximadamente 25% (Urien y Ewing, 1974; Parker *et al.*, 1997, 1999; 2008; Violante y Parker, 2000; 2004; Violante, 2004; COPLA, 2017). La Figura 11 presenta las texturas sedimentarias superficiales del lecho marino en la zona de interés de acuerdo al Atlas de sensibilidad ambiental de la costa y el mar argentino (2008).





**Figura 11. Cobertura sedimentaria superficial del lecho del margen continental argentino. El polígono turquesa indica el: Área Operativa sísmica. Los puntos negros y sus leyendas corresponden a testigos de fondo. Modificado del Atlas de sensibilidad ambiental de la costa y el mar argentino (2008).**

En la Figura 11 también se muestra la ubicación de testigos de fondo extraídos en la zona de estudio. La información de los testigos fue obtenida a través de GeoMapApp, una aplicación de Lamont-Doherty Earth Observatory de la Universidad de Columbia que permite la búsqueda, visualización y análisis de sets de datos globales de las ramas de la geofísica, la geología, la oceanografía física, la climatología y otras.

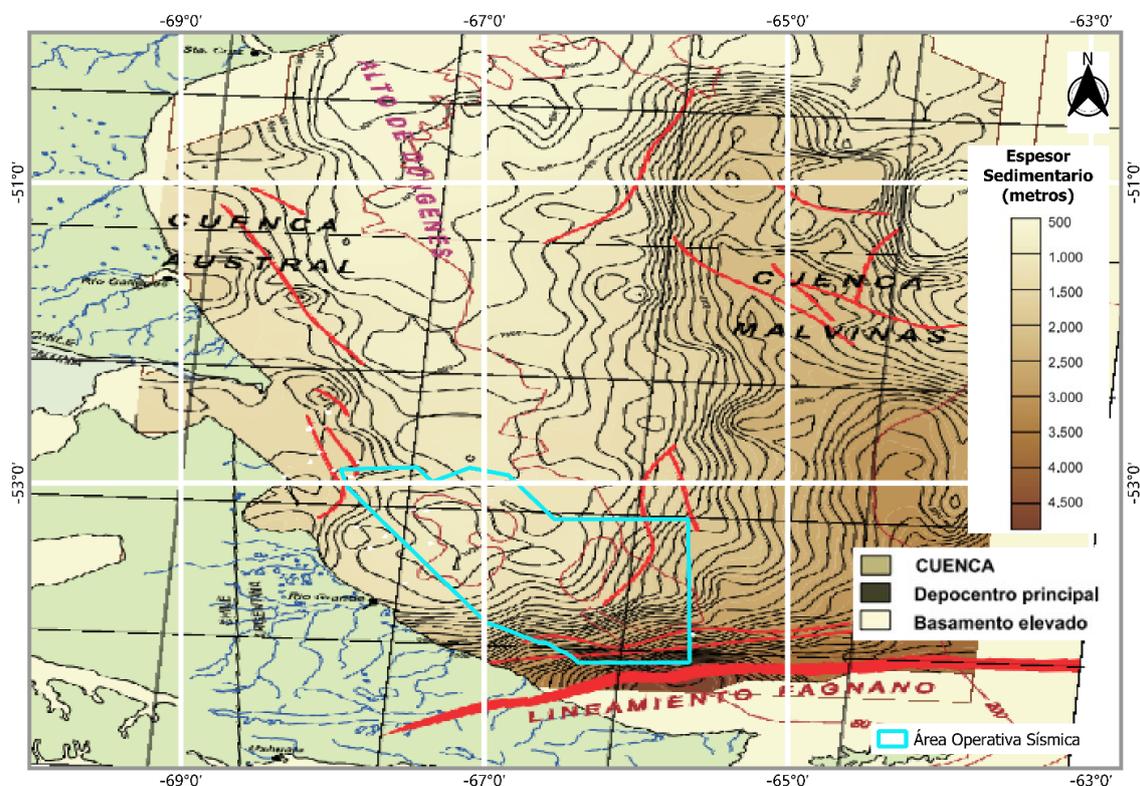
La descripción del material encontrado en los testigos se presenta en la Tabla 5.

El espesor sedimentario total presente en la zona de estudio se presenta en la Figura 8 y la Figura 12. El mismo alcanza valores de 1600 m en el sector noroccidental del área operativa del proyecto, de 1000 m en su centro y de 2200 m (COPLA, 2017) hasta cerca de 4000 m (Baristeas et al., 2013) en su extremo sudoriental.



**Tabla 5. Descripción del material encontrado en testigos de fondo. Fuente: GeoMapApp (www.geomapapp.org).**

Testigo	Prof. del lecho	Descripción
VM15-97	60 m	Muerto: 0-4 cm: arena fina, guijarros y escaso material biológico. Camisa: 0-76 cm: lutita limosa, con capas de limo arenoso (11-13 cm; 31-32 cm; 41 cm; 58 cm) y lentes de limo y arena fina.
VM15-110	40 m	0-87 cm: lutita ligeramente limosa, con lentes de arena muy fina o limo. 87-281 cm: lutita ligeramente limosa, con lentes de limo fino, limo y arena muy fina. 281-249 cm: lutita ligeramente limosa, con láminas y escasas lentes de limo. 429-477 cm: lutita ligeramente limosa.
VM15-111	60 m	0-3 cm: arena y guijarros pequeños. 3-13 cm: lutita limosa.
VM15-98	50 m	0-9 cm: arena media pobremente consolidada, con presencia de algunos guijarros y un 30-35% de elementos fósiles. 9-40 cm: calci-lutita ligeramente limosa con un 8% de arena. 40-45 cm: calci-lutita dura. 45-110 cm: calci-lutita dura ligeramente limosa, con capas de arena media y fósiles. 110-118 cm: arena media no consolidada y fósiles.
VM15-112	90 m	0-42 cm: arena fina, con fragmentos de foraminíferos y de valvas. 42-68 cm: arena media, con fragmentos de foraminíferos y de valvas. 68-78 cm: capa heterogénea, compuesta de guijarros, arena y lutita. La arena es fina, con capas de arena media y fragmentos de foraminíferos. Los guijarros llegan a alcanzar un tamaño de 5 cm (arenisca cementada con carbonato de calcio). A los 73-75 cm hay una capa de lutita ligeramente limosa. A los 75-78 cm la capa es una mezcla de guijarros, arena, lutita limosa y algunos fragmentos de valvas. 78-84 cm: Arena muy fina, con escasos fragmentos de foraminíferos y de valvas. 84-122 cm: Arena media, con poca presencia de foraminíferos y fragmentos de valvas. A los 106-120 cm hay lentes de limo. 122-124 cm: limo y arena muy fina. 124-151 cm: arena media, con numerosos guijarros (15-20%) y fragmentos de foraminíferos y de valvas.
VM15-109	100 m	0-51 cm: arena media fosilífera, con guijarros y fragmentos de valvas. 51-103 cm: arena gruesa/grava fosilífera.



**Figura 12. Espesor sedimentario en las cuencas Austral y Malvinas. Las líneas negras corresponden a las isopacas. Fuente: Modificado de COPLA (2017).**



Las propiedades geoacústicas de los sedimentos de fondo determinadas en función de la información incluida en este apartado y que constituyen un input para el modelo de la propagación y atenuación del ruido se presentan en el Capítulo de Modelación acústica.

#### 1.4 PELIGROSIDAD GEOLÓGICA

Distintos procesos naturales de origen geológico afectan al planeta Tierra, originados por actividad interna o externa. Al primer caso pertenecen los terremotos y el volcanismo, que son procesos formadores de montañas. Los procesos externos son activados por los agentes meteorológicos (agua, nieve, viento) o por las fuerzas de la gravedad y otros procesos erosivos, que modifican la superficie terrestre.

El concepto de peligrosidad geológica hace referencia únicamente al efecto del proceso, mediante una estimación cualitativa de la posibilidad o probabilidad de ocurrencia del mismo, independientemente de las consecuencias que éste pueda tener o de las pérdidas a que pueda dar.

Con relación al presente proyecto, la única temática a desarrollar es la sismicidad del área de estudio, la cual está atravesada por el sistema de fallas Magallanes-Fagnano, que constituye parte del límite de placa entre la Sudamericana y la de Scotia, activo y potencialmente sísmico (E. Lodolo, comunicación personal).

Actualmente, el movimiento entre ambas placas es lento ( $<5$  mm/año) y la sismicidad en la región de Tierra del Fuego es muy baja (se reportaron eventos de magnitud  $<3,5$  en el período 1997-1999). Sin embargo, de acuerdo con lo reportado por el Catálogo Sismológico Internacional, históricamente la sismicidad ha sido significativa. Dos de los eventos más importantes ocurrieron el 2 de febrero de 1879 "terremoto del estrecho de Magallanes" y el 17 de diciembre de 1949 "terremoto de Punta Arenas" (Lodolo et al., 2003).

El Instituto Nacional de Prevención Sísmica de la Argentina (INPRES) tiene a su cargo la instalación y el mantenimiento de la Red Nacional de Acelerógrafos. El acelerógrafo es un instrumento que permite obtener un gráfico que se denomina acelerograma, el cual muestra la variación de las aceleraciones en el lugar de su emplazamiento en función del tiempo.

A partir del análisis de los diferentes terremotos registrados en el país y en otros lugares del mundo con características sísmicas similares se determina el denominado sismo de diseño. En general, se adopta el movimiento más destructivo que puede ocurrir en una determinada zona, con una recurrencia de 500 años.

El peligro sísmico, que es la probabilidad de que ocurra una determinada amplitud de movimiento del suelo en un intervalo de tiempo fijado, depende del nivel de sismicidad de cada zona. Los Mapas de Zonificación Sísmica individualizan zonas con diferentes niveles de Peligro Sísmico.

En el Mapa de Zonificación Sísmica del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 se encuentran identificadas 5 zonas. Un valor que permite comparar la actividad sísmica en cada una de ellas es la máxima aceleración del terreno "as" para el sismo de diseño antes definido. Esta aceleración se expresa en unidades de "g" (aceleración de la gravedad).

La Figura 13 muestra el mencionado Mapa de Zonificación Sísmica, pudiéndose observar que el área operativa del proyecto se ubica frente a zonas de peligrosidad sísmica con valores 1 (reducida) y 2 (moderada).



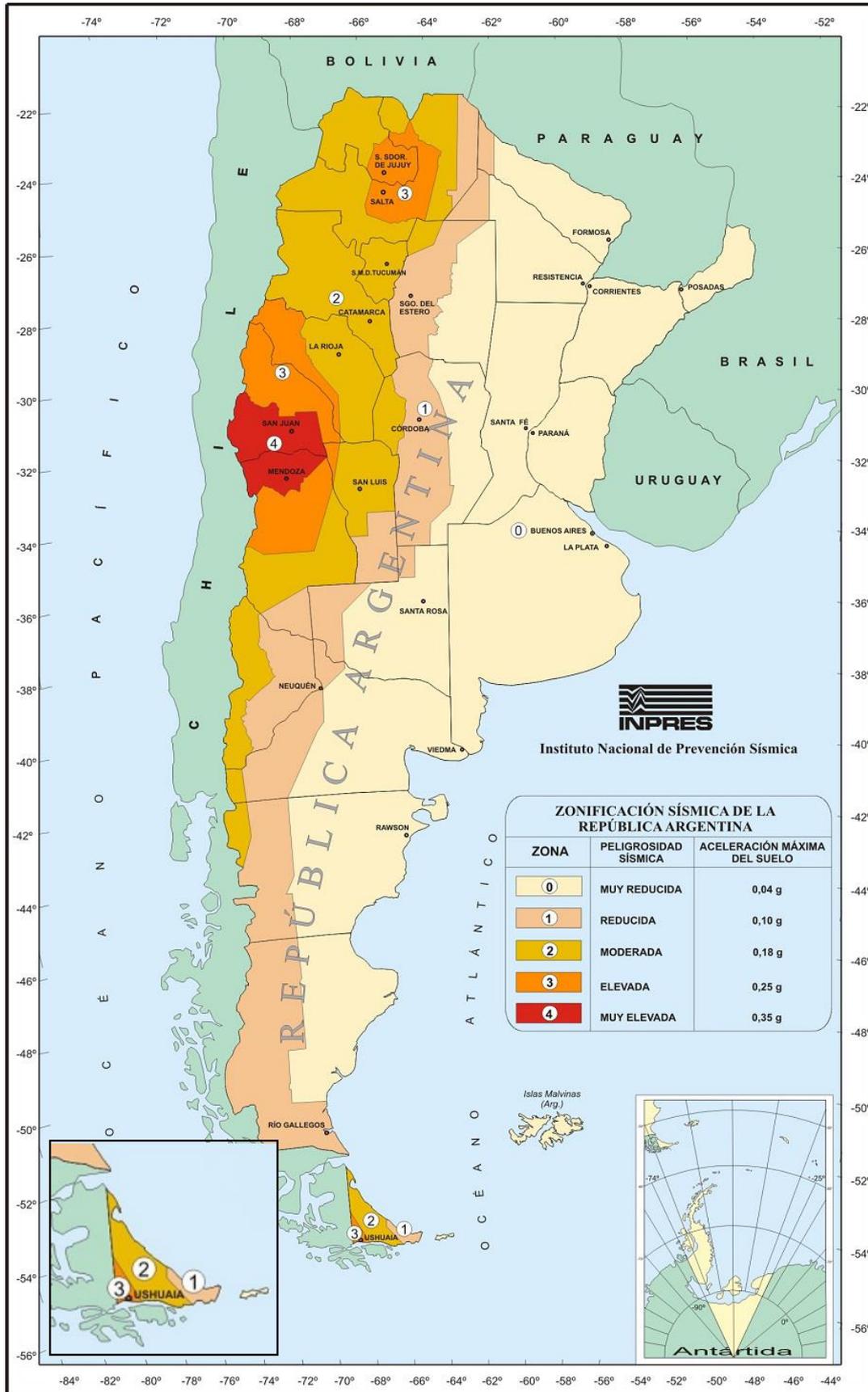


Figura 13. Mapa de Zonificación Sísmica del Instituto Nacional de Prevención Sísmica de la Argentina (INPRES). Abajo a la izquierda se muestra un detalle de la zona de interés del proyecto.

## 2 OCEANOGRAFÍA

### 2.1 BATIMETRÍA Y LECHO MARINO

El margen continental argentino está determinado por la extensión natural sumergida del continente hasta la llanura abisal o fondos marinos (borde exterior del margen continental) y comprende, a grandes rasgos, la plataforma, el talud y la emersión continental.

La plataforma, una planicie submarina de gran extensión, abarca desde la línea de costa hasta el borde superior del talud. La plataforma continental argentina es una de las más extensas del mundo. Cubre una superficie de ~960000 km<sup>2</sup> y se extiende a lo largo de unos 2400 km entre el Río de la Plata y el cabo de Hornos, aunque la línea de costa que la margina tiene una longitud de unos 5300 km si se consideran sus irregularidades mayores. Su ancho es variable entre 170 km y ~1200 km.

El borde interior (hacia el continente) está marcado por un frente de costa de fuerte pendiente cuya base llega hasta los 10-20 m en el litoral bonaerense y va incrementando su profundidad hacia el sur. El borde exterior, que marca la transición hacia el talud, sigue un rumbo NE-SO entre 36°S (Río de la Plata) y 44°S, a partir de donde cambia gradualmente a N-S para, a los 50°S, dirigirse hacia el este rodeando las islas Malvinas y volver a acercarse al continente frente al estrecho de Magallanes. La profundidad del borde exterior también es variable, con una tendencia regional de profundización de norte a sur (Figura 14).

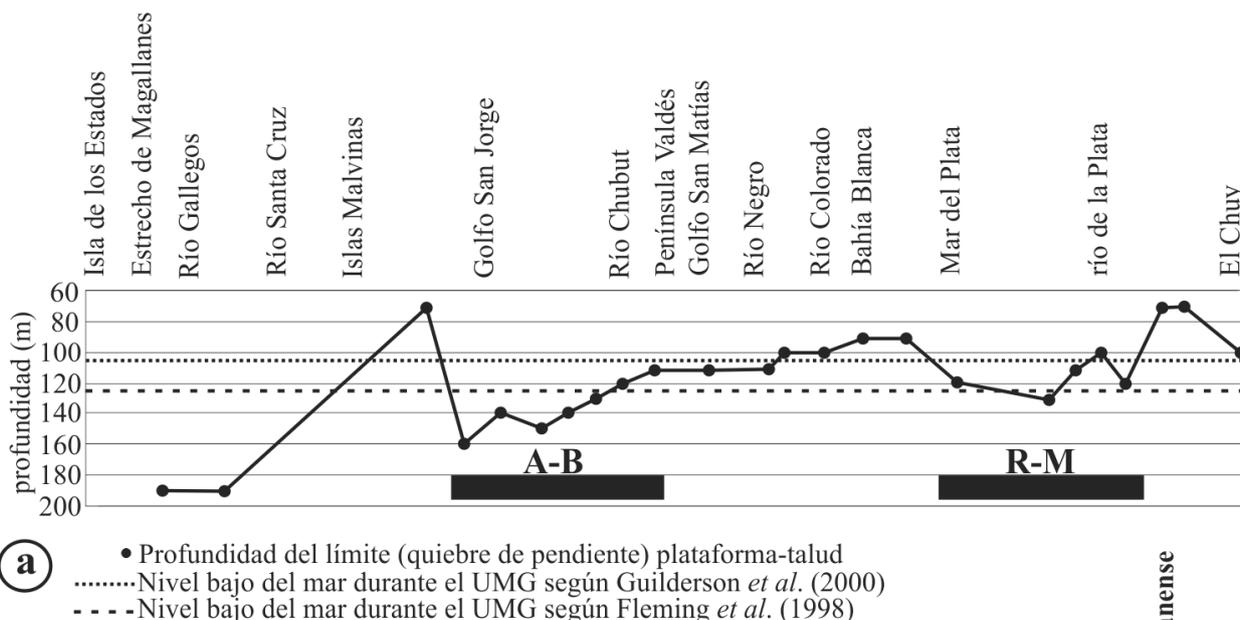
La pendiente de la plataforma es suave, modelada en superficies aterrazadas escalonadas (Figura 5 - Tabla 1) y con características cambiantes, ya que en el área adyacente a la región pampeana su perfil es convexo (mayor pendiente regional hacia la plataforma exterior) mientras que en la región adyacente a Patagonia es cóncavo (mayor pendiente regional hacia el lado del continente) (Violante et al., 2014).

La variabilidad en la profundidad del borde exterior de la plataforma (Figura 14) es uno de los aspectos más interesantes de la configuración morfológica regional. Southard y Stanley (1976) y Pratson et al. (2007), entre otros, sintetizaron la complejidad de las variables que intervienen en el modelado de ese rasgo, entre las que se cuentan procesos estructurales, isostáticos, eustáticos, oceanográficos, la dinámica sedimentaria continental, litoral y marina profunda, y aún procesos biológicos, todos ellos actuando de manera diferencial durante etapas de posiciones variables del nivel del mar.

Si bien la plataforma está constituida por una superficie regular, se manifiestan desniveles representados por una sucesión de superficies subhorizontales (terrazas) a diferentes profundidades (30-70 m, 80-100 m, 110-120 m y 130-150 m) separadas por escalones de fuerte pendiente. Estas terrazas se denominan respectivamente niveles I, II, III y IV (Tabla 1).

En el talud se desarrollan numerosos sistemas de cañones submarinos, destacándose el sistema Ameghino-Alte. Brown, entre golfo San Jorge y península Valdés, y el sistema Río de la Plata-Mar del Plata, frente al litoral del este bonaerense al norte de esta ciudad (Violante et al., 2010; 2014). Nótese en la Figura 5 la ubicación en el talud de estos sistemas mayores de cañones submarinos.





**Figura 14. Perfil S-N a lo largo del quiebre de pendiente plataforma exterior-talud. R-M y A-B: zona influenciada por la actividad de los sistemas de cañones submarinos Río de la Plata-Mar del Plata y Ameghino-Alte. Brown respectivamente (para su ubicación ver Figura 5). Fuente: Violante et al., 2014.**

La batimetría del lecho en el área de estudio, obtenida de la base global de datos GEBCO “The General Bathymetric Chart of the Oceans” se presenta en la Figura 15. El Área Operativa Sísmica (AOs) se encuentra sobre la plataforma continental de Tierra del Fuego, en profundidades de entre 30 m y 120 m, existiendo dos *spots* en el límite nororiental del AOs en donde se alcanzan valores de 125-130 m.

En dicha figura se muestra la posición de distintas transectas en las que se han obtenido seis perfiles batimétricos. A lo largo de ellos (Figura 16) puede verse la existencia de sucesivas elevaciones y depresiones del lecho.

Salvo en el Perfil 1, se observa un pronunciado incremento de la profundidad entre la línea de costa y una profundidad de unos 25 m (Perfil 2), 40 m (Perfil 4), 30 m (Perfil 5) y 25 m (Perfil 6); en el Perfil 3 el lecho se profundiza rápidamente hasta unos 40 m para luego volver a elevarse.

Más allá de esta profundización inicial y hasta una profundidad de entre 65 m y 85 m según el perfil, el lecho presenta una pendiente de 1 m/km a 2 m/km para luego hacerse más tendido, con una pendiente de 0,2-0,5 m/km.



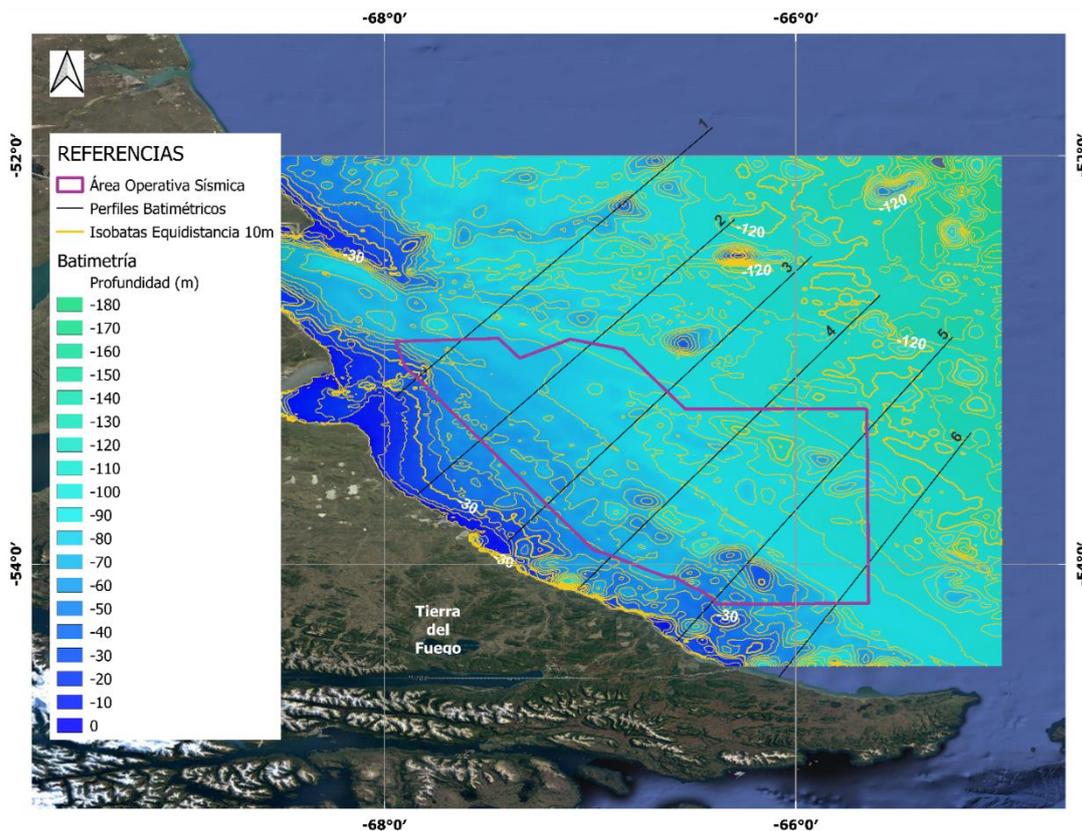


Figura 15. Batimetría del área de estudio y posición de las transectas correspondientes a seis perfiles batimétricos. Fuente: base global de datos GEBCO “The General Bathymetric Chart of the Oceans”: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)



Figura 16. Perfiles batimétricos correspondientes al Área Operativa Sísmica (ver ubicación en Figura 15). Fuente: base global de datos GEBCO “The General Bathymetric Chart of the Oceans”: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)

## 2.2 CORRIENTES Y MASAS DE AGUA

El límite offshore de la plataforma continental argentina está caracterizado por la presencia de fuertes corrientes, la corriente de Brasil de contorno oeste, en su extremo norte, fluyendo hacia el sur y la corriente local de contorno oeste de Malvinas, al sur de aproximadamente 38°S, fluyendo hacia el norte.

La corriente de Brasil fluye hacia el sur a lo largo del margen continental de América del Sur y constituye el límite oeste del llamado giro subtropical del Atlántico Sur, cuyas aguas, de origen subtropical, son más cálidas (superan los 26°C en su superficie) y salinas que las aguas adyacentes (Campagna et al., 2006).

El encuentro de las corrientes de Brasil y de Malvinas se produce cerca de los 38° de latitud sur (desplazándose hacia el norte o hacia el sur según la estación del año) en el ambiente de aguas profundas del talud y forman la zona de confluencia Brasil-Malvinas (Frente Subtropical), una de las regiones de mayor concentración de energía de todos los océanos del mundo. En la misma coexisten y se mezclan aguas subtropicales y subantárticas que determinan importantes gradientes fisicoquímicos y favorecen la presencia de altas concentraciones de nutrientes con importantes consecuencias biológicas para todo el ecosistema.

Después de encontrarse con la corriente de Malvinas, la corriente de Brasil se bifurca y una de sus ramas (la más externa) forma la corriente del Atlántico Sur (Campagna et al., 2006), mientras que el flujo principal de la corriente de Malvinas describe un brusco giro y forma el flujo de retorno de Malvinas que se dirige al sudeste. Este flujo de retorno genera la surgencia de aguas profundas que enriquecen el contenido de los nutrientes de las aguas superficiales (Campagna et al., 2006). Un esquema de la circulación de estas corrientes se muestra en la Figura 17 y en la Figura 18.

Por otro lado, cabe destacar que además de la influencia de estas dos corrientes muy distintas, la circulación en la plataforma continental argentina está controlada por fuertes mareas (Glorioso y Flather, 1997; Palma et al., 2004a), importantes descargas de agua dulce (Piola et al., 2005) y vientos muy variables (Piola y Matano, 2001; Palma et al., 2004b).

La fuente principal de las masas de agua de la plataforma continental patagónica la constituye el agua subantártica, transportada desde el norte del pasaje de Drake por la corriente del Cabo de Hornos que fluye entre la costa atlántica y las Islas Malvinas, así como por la corriente de Malvinas que fluye a lo largo del borde de la plataforma. Por otro lado, existen pequeñas descargas continentales que aportan agua dulce y una fuente de agua de baja salinidad dada por el flujo que ingresa a través del estrecho de Magallanes. Esta última es consecuencia de las altas precipitaciones que se producen en el océano Pacífico cerca de la costa de Tierra del Fuego, así como del derretimiento del hielo continental que drena hacia el estrecho por importantes cañadones (Bianchi et al., 2005).

La corriente de Malvinas tiene su origen en la desviación alrededor de la plataforma patagónica de la rama norte de la Corriente Circumpolar Antártica, la cual fluye hacia el este transportando aguas subantárticas frías, poco salinas (34,0 PSU) (Peterson y Whitworth III, 1989; Piola y Gordon, 1989; Guihou et al, 2020) y ricas en nutrientes (Acha et al., 2004; Romero et al., 2006) desde el pasaje de Drake a lo largo de la porción superior del talud de la plataforma continental argentina.



Luego de atravesar el pasaje de Drake la corriente de Malvinas rodea el somero banco Burdwood (o Namuncurá) y las Islas Malvinas, contorneando la topografía dibujada por el borde de la plataforma continental (Campagna et al., 2006). Solo una rama de esta fuerte corriente, desviada entre la plataforma patagónica y el banco Burdoowd alcanza la depresión de Malvinas (*Malvinas Embayment*, Figura 18) y fluye a lo largo del talud en la región austral antes de unirse más al norte a la corriente de Malvinas. La velocidad de la corriente en la zona del Cabo de Hornos excede los 60-70 cm/s (Zyranov y Sererov, 1979). La velocidad promedio de la corriente divergente de Malvinas alcanza valores de 25 cm/s a 50 cm/s (Servicio de Hidrografía Naval, 1993).



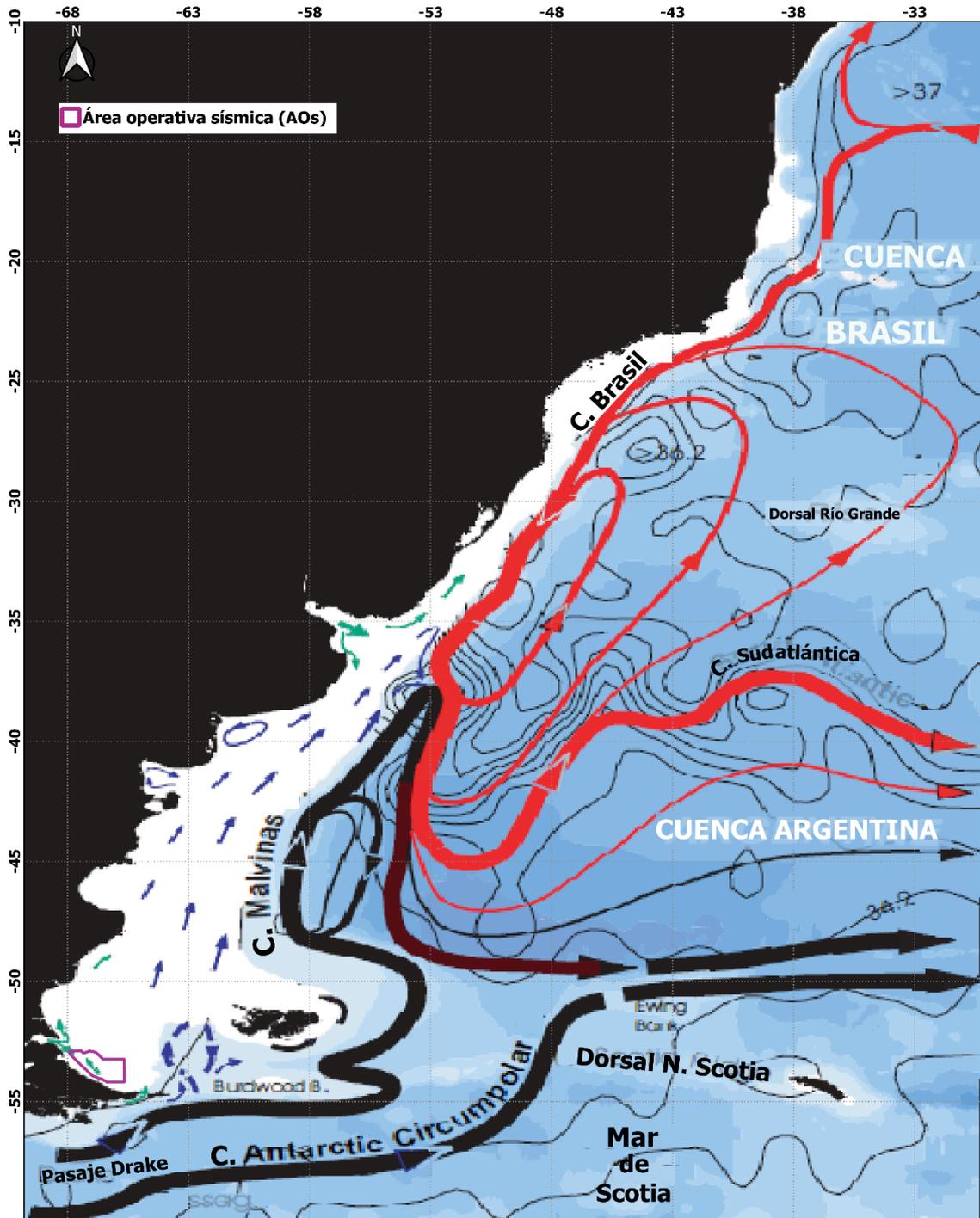


Figura 17. Esquema de la circulación superior de las principales corrientes del Atlántico Sudoccidental.

Las líneas negras corresponden al flujo de las aguas antárticas y subantárticas, asociadas con la Corriente Circumpolar Antártica y la corriente de Malvinas respectivamente. Las líneas rojas representan el flujo de las aguas subtropicales transportadas por la corriente de Brasil. Sobre la plataforma continental patagónica, las flechas azules y verdes representan las corrientes medias en superficie. Las isoclinas finas de color negro muestran el campo de salinidad a 200 m de profundidad, usado para inferir parte del esquema de la circulación. En la confluencia Brasil-Malvinas se desarrolla un fuerte frente de salinidad que se extiende con un patrón meandroso hacia el interior del océano formando la corriente del Atlántico Sur. Fuente: Piola y Matano (2017).



Ing. MARIANO MICULICICH  
Director  
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

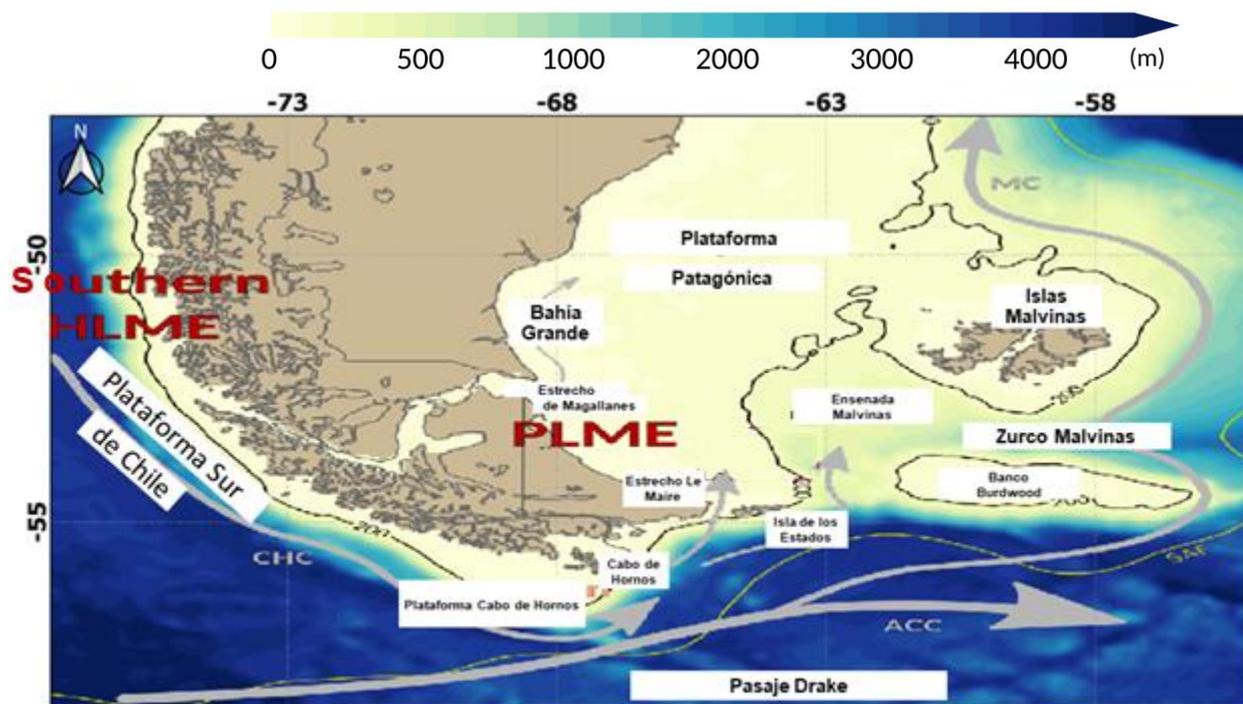
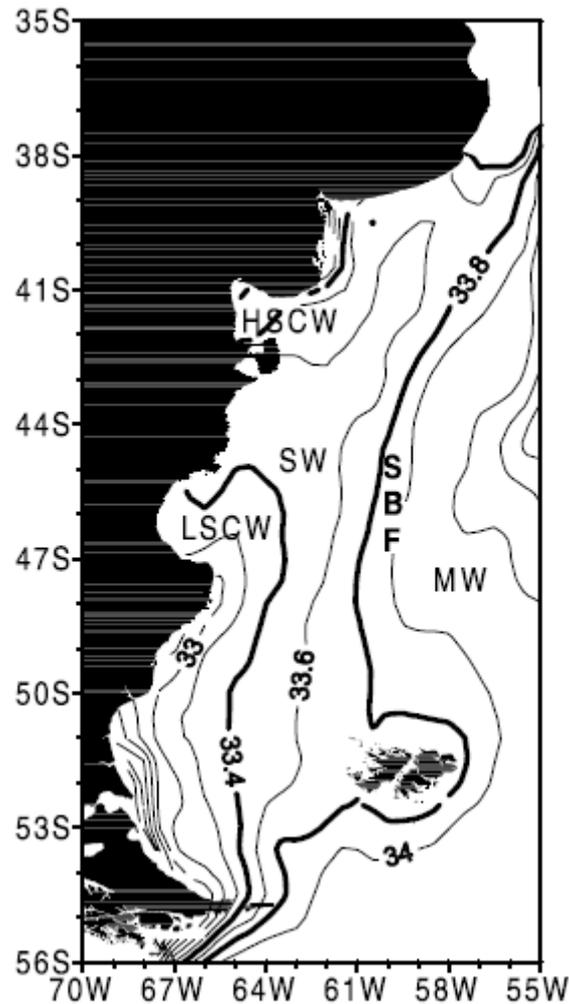


Figura 18. Principales rasgos fisiográficos y corrientes de la plataforma continental patagónica. En gris se muestran las trayectorias de la rama norte de la Corriente Circumpolar Antártica (*Antarctic Circumpolar Current -ACC-*), la corriente del cabo de Hornos (*Cape Horn Current -CHC-*) y la corriente de Malvinas (*Malvinas Current -MC-*). La línea fina amarilla corresponde al frente subantártico (*Subantarctic Front -SAF-*). PLME: gran ecosistema marino de la Patagonia. Southern HLME: gran ecosistema marino de Humboldt. Fuente: Guihou et al. (2020).

De acuerdo con su salinidad pueden definirse cuatro masas de agua (Figura 19). Éstas son el agua costera de baja salinidad (<33,4 UPS), el agua de plataforma o de plataforma media (entre 33,4 UPS y 33,8 UPS), el agua de Malvinas (>33,8 UPS) y el agua costera de alta salinidad en la zona cercana a los golfos San Matías y Nuevo (>34,0 UPS), donde se produce el desvío hacia mar adentro de la intrusión o pluma de aguas de baja salinidad derivada de la descarga a través del estrecho de Magallanes. Cabe destacar que las isohalinas de 33,8 UPS y 33,4 UPS marcan los bordes de dos frentes oceánicos (donde las propiedades del agua cambian abruptamente): el frente de talud, entre las aguas de Malvinas y las aguas de la plataforma media, y el frente de marea que se desarrolla durante la estación estival entre las aguas costeras cuasi homogéneas en la vertical y las aguas estratificadas de la plataforma media (Bianchi et al., 2005).





**Figura 19. Distribución horizontal de la salinidad climatológica superficial de la plataforma continental argentina. Se resaltan las isohalinas que separan las distintas masas de agua (33,4 UPS y 33,8 UPS). Las abreviaturas corresponden a: agua costera de baja salinidad (*Low Salinity Coastal Water* -LSCW-), agua costera de alta salinidad (*High Salinity Coastal Water* -HSCW-), agua de plataforma (*Shelf Water* -SW-), agua de Malvinas (*Malvinas Water* -MW-) y frente de talud (*Shelf Break Front* -SBF-). Fuente: Bianchi et al., 2005.**

Específicamente, la región objeto de este estudio corresponde al área en la que se produce el intercambio entre los dos ecosistemas marinos más grandes del hemisferio sur, localizados a lo largo de las costas de los océanos Pacífico y Atlántico de América del Sur. Los mismos son el gran ecosistema marino de Humboldt (*Humboldt Large Marine Ecosystem* -HLME-) en el Pacífico oriental y el gran ecosistema marino de la Patagonia (*Patagonian Large Marine Ecosystem* -PLME-) en el Atlántico occidental (Figura 18).

Los grandes ecosistemas marinos son regiones oceánicas relativamente extensas que abarcan desde las zonas costeras, incluyendo ríos y estuarios, hasta los bordes de las plataformas continentales y sus principales sistemas de corrientes, con distintivas características batimétricas, hidrográficas, de productividad y de poblaciones tróficamente dependientes (Guihou et al, 2020; Duda y Sherman, 2002).



Ing. MARIANO MICULICICH  
 Director  
 SERMAN & ASOCIADOS S.A.

El gran ecosistema marino de la Patagonia se localiza en la región sudoccidental del Océano Atlántico y abarca la plataforma patagónica, que constituye la plataforma continental más extensa del hemisferio sur. La misma está sujeta a la acción de fuertes vientos del oeste (*westerlies*) y a mareas con una amplitud que es de las más altas de los océanos mundiales. La salinidad de sus aguas se caracteriza por ser baja (menor a 33,8 UPS) y tener poca variación estacional y vertical (Bianchi et al., 2005; Guihou et al., 2020).

La pluma de Magallanes, derivada de la descarga de aguas poco salinas a través del estrecho del mismo nombre a una latitud de 52,5°S, constituye un rasgo distintivo de la plataforma. Este flujo tiene una extensión muy importante, alcanzando los 42°S. Hay mucha incertidumbre en cuanto a su caudal, pero lo que sí es seguro es que tiene una influencia enorme en el área (Piola et al., 2018).

Las reconstrucciones esquemáticas existentes de la circulación media anual realizadas por Guihou et al (2020) a partir de observaciones y de modelos matemáticos muestran que en el extremo sur del continente el flujo se dirige desde el Pacífico hacia el Atlántico, desarrollándose el intercambio entre las aguas del Pacífico Sur y las aguas subantárticas en la porción más austral de la plataforma continental patagónica a través de los estrechos de Magallanes y de Le Maire, así como del borde mismo de la plataforma.

El estrecho de Magallanes comunica los océanos Pacífico y Atlántico a una latitud de 52°S a través de un canal de unos 570 km de longitud y compleja morfología, con anchos que van desde unos pocos kilómetros (Primera Angostura y Segunda Angostura) hasta más de 50 km en su boca oriental. El estrecho de Le Maire, de 30 km de ancho, separa el extremo sudeste de Tierra del Fuego de la isla de los Estados a los 54,8°S, bajo la influencia de fuertes corrientes que fluyen a lo largo del talud.

En la zona de estudio, correspondiente a la región más austral de la plataforma patagónica, se cuenta con escasas observaciones directas de corrientes. De esta manera, se vuelca en este apartado la información proveniente de distintas simulaciones numéricas.

Guihou et al (2020) estudiaron, a través de 27 años (1980-2006) de simulaciones realizadas con el modelo Regional Ocean Modeling System (ROMS; Shchepetkin and McWilliams, 2005) y la aplicación de algoritmos de seguimiento de partículas, el intercambio que se produce entre los dos grandes ecosistemas marinos de Humboldt y de la Patagonia, estimando los volúmenes de agua intercambiados alrededor del extremo sur de América del Sur.

Como resultado, encontraron un flujo general hacia el polo en la región austral del gran ecosistema de Humboldt, un flujo bien definido desde el Pacífico hacia el Atlántico y un transporte hacia el ecuador sobre la plataforma patagónica.

Las simulaciones lagrangianas muestran que la mayoría de las aguas australes de la plataforma continental patagónica se originan en la capa superior del Pacífico Sur sudoriental (<200 m), principalmente desde las plataformas chilena y del cabo de Hornos, no habiendo agua que provenga desde el sur del frente subantártico a través del pasaje de Drake. El intercambio se produce a través del estrecho de Le Maire, el estrecho de Magallanes y el borde de la plataforma continental.

En la Figura 20 se presenta el esquema del transporte medio total de la capa superior del océano (0-200 m) calculado con el modelo ROMS. El flujo que ingresa a la plataforma patagónica a través del estrecho de Magallanes es de 0,10 Sv (1 Sverdrup =  $1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/s), a través del estrecho de Le Maire es de 0,17 Sv y a través del borde de la plataforma es de 0,62 Sv.



El transporte a través de ambos estrechos constituye el 30% del flujo total que ingresa a la plataforma patagónica, siendo el del estrecho de Le Maire algo mayor que el del estrecho de Magallanes. La fuente principal (el 70%) de las aguas de la plataforma proviene a través del borde de la plataforma, asociada con el flujo transversal de agua ingresante desde la depresión de Malvinas (*Malvinas Embayment* -ME-, Figura 20), cuya mayor parte se produce al sur de 52,5°S. El transporte a través del estrecho de Magallanes es pequeño, pero debido a su baja salinidad impacta fuertemente en la densidad y circulación de la plataforma patagónica. Constituye un jet costero que lleva al desarrollo de una pluma de baja salinidad que se extiende corriente abajo (hacia el norte) hasta 42°S (Palma y Matano, 2012; Brun et al., 2019).

Los autores compararon los resultados con aquellos derivados de la aplicación del código NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean; Madec, 2014), encontrando que, contrariamente a lo encontrado por ellos, la entrada principal de agua se produce a través del estrecho de Le Maire (0,52 Sv) mientras que solo 0,35 Sv ingresan a través del talud. Cabe destacar que las simulaciones de NEMO no incluyen el forzante de marea.



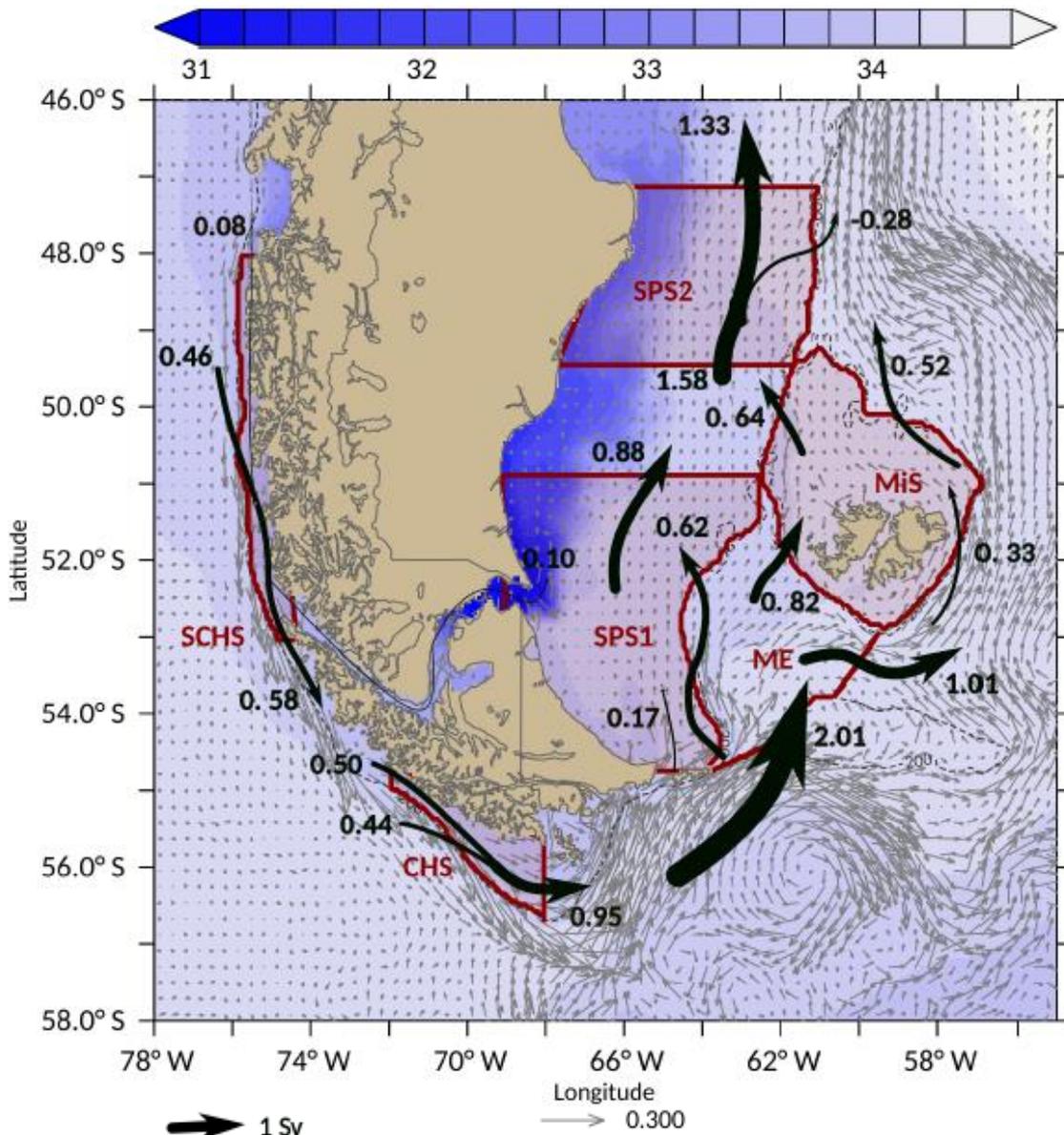


Figura 20. Esquema del transporte medio total de la capa superior (0-200 m) del océano calculado con ROMS sobre la plataforma austral chilena (Southern Chilean Shelf -SCHS-), la región austral de la plataforma patagónica (Southern Patagonian Shelf -SPS1 y SPS2-), la plataforma de Malvinas (Malvinas Shelf -MiS-) y la cuenca de Malvinas (Malvinas Embayment -ME-). La escala de colores representa la salinidad media superficial arrojada por el modelo y los vectores representan la velocidad promedio en profundidad (entre la superficie y el fondo). Las flechas y cifras negras indican el transporte (en Sverdrup) integrado a través de cada una de las secciones. Longitud: Longitud. Latitud: Latitud. Fuente: Guihou et al., (2020).

Palma et al. (2008) presentan y analizan un conjunto de simulaciones numéricas realizadas con el modelo Princeton Ocean (Blumberg y Mellor, 1987). Las simulaciones consideran la interacción entre la plataforma y las profundidades oceánicas e incluyen todos los grandes forzantes de la circulación actuantes sobre la plataforma continental del Atlántico sudoccidental (vientos, mareas, descargas de agua dulce y corrientes de contorno oeste), con el objetivo de caracterizar la circulación media anual, su variabilidad estacional y los mecanismos dinámicos que la controlan.



A posteriori, utilizando el mismo modelo, Palma y Matano (2012) profundizaron en los mecanismos dinámicos que controlan la dispersión de la pluma de Magallanes, esta lengua de baja salinidad que se extiende a lo largo de la plataforma patagónica y presenta características distintivas, a saber: ocupa una inusual extensión areal (unos 1200 km a lo largo de la plataforma); alcanza profundidades de más de 100 m; su trayectoria es peculiar (no sigue la costa, sino que se separa de la misma al norte de los 47°S fluyendo a lo largo de la isobata de 100 m).

Palma y Matano (2012) se focalizaron, en particular, en dilucidar el rol de la marea, el viento y la influencia de la corriente de Malvinas en la estructura de la pluma, con el objeto de dar respuesta a cuáles son los mecanismos que controlan su penetración a lo largo y a lo ancho de la plataforma patagónica, así como su estratificación vertical.

En esta región, la tensión de corte media anual del viento está caracterizada por una banda de fuertes vientos del oeste (*westerlies*) que se intensifican durante el invierno austral (Palma et al., 2004a).

El ciclo de marea está dominado por la componente semidiurna, de gran amplitud, que entra en la plataforma a través de su borde sur. Las corrientes de marea son muy intensas y fuertemente alineadas en dirección perpendicular a la plataforma (Glorioso y Flather, 1997).

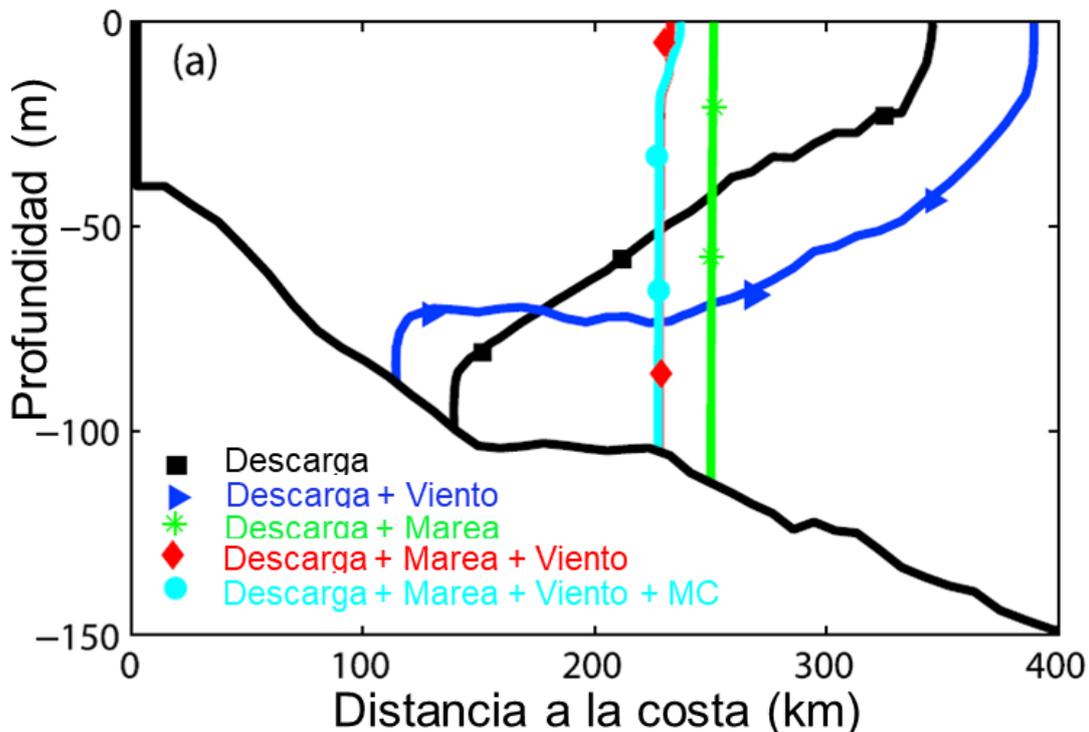
Las conclusiones a las que arribaron Palma y Matano (2012) a través de distintas simulaciones realizadas con el modelo Princeton Ocean, imponiendo de manera diferencial los distintos forzantes que actúan en el área se enumeran a continuación (ver Figura 21 y Figura 22):

- el área está altamente influenciada por el forzante del viento, el cual incrementa la dispersión hacia mar adentro;
- la marea induce una mezcla que produce una homogeneización sustancial de la columna de agua y un desplazamiento offshore del frente de salinidad;
- la intrusión o pluma de baja salinidad es muy sensible al caudal de descarga, cuyas variaciones producen modificaciones sustanciales de su penetración hacia el sur;
- la influencia de la corriente de Malvinas provoca una retracción hacia la costa y una extensión a lo largo de la plataforma de la pluma de Magallanes;
- el límite norte de la pluma de aguas de baja salinidad se ubica aproximadamente a los 42°S, lugar donde se produce su desvío hacia mar adentro; este límite está determinado por la descarga de aguas de alta salinidad (>34,0 UPS) proveniente del golfo San Matías (una región de alta evaporación, ver Figura 19), sin la cual la pluma se extendería hasta el Río de la Plata (aproximadamente hasta los 35°S);
- la pluma de Magallanes hace sentir su influencia no solo hacia el norte, en el sentido de la corriente, sino también hacia el sur hasta aproximadamente los 54°S; y
- la descarga de Magallanes genera una corriente con dirección NE en la plataforma media, una recirculación al sur de la misma y una región de corrientes débiles al norte (Figura 22).



En definitiva, las características generales de la pluma (ancho, profundidad, velocidad de dispersión, etc.) están controladas principalmente por el forzante de la marea de gran amplitud con sus importantes velocidades de corriente altamente bidireccionales. La concurrencia de este forzante y la influencia de los fuertes vientos del oeste producen la dispersión de la pluma tanto hacia el norte (a favor de la corriente) como hacia el sur, amén de una gran mezcla que se traduce en una marcada homogeneización de la columna de agua (particularmente durante el otoño y el invierno).

La corriente con dirección NE producida por la pluma de Magallanes en la plataforma media podría corresponder a la denominada corriente Patagónica por Brandhorst y Castello (1971). No hay observaciones actuales para confirmar esta hipótesis, pero las simulaciones numéricas realizadas por Palma et al. (2008) muestran un aumento de las velocidades de plataforma media que coincide con la trayectoria de la pluma de Magallanes cuyo límite puede seguirse con la isohalina de 33,5 UPS (Bianchi et al., 2005).



**Figura 21. Posición sobre la plataforma (distancia desde la costa) de la isohalina de 33,5 UPS frente a Bahía Grande (aproximadamente 51°S; Figura 18) para distintos forzantes considerados en la simulación numérica. Las líneas representan los resultados obtenidos considerando los siguientes forzantes: únicamente la descarga a través del estrecho de Magallanes (cuadrados negros); descarga más vientos (triángulos azules); descarga más mareas (asteriscos verdes); descarga más mareas más vientos (rombos rojos); y descarga más mareas más vientos más corriente de Malvinas -CM- (círculos celestes). Fuente: Modificado de Palma y Matano, (2012).**



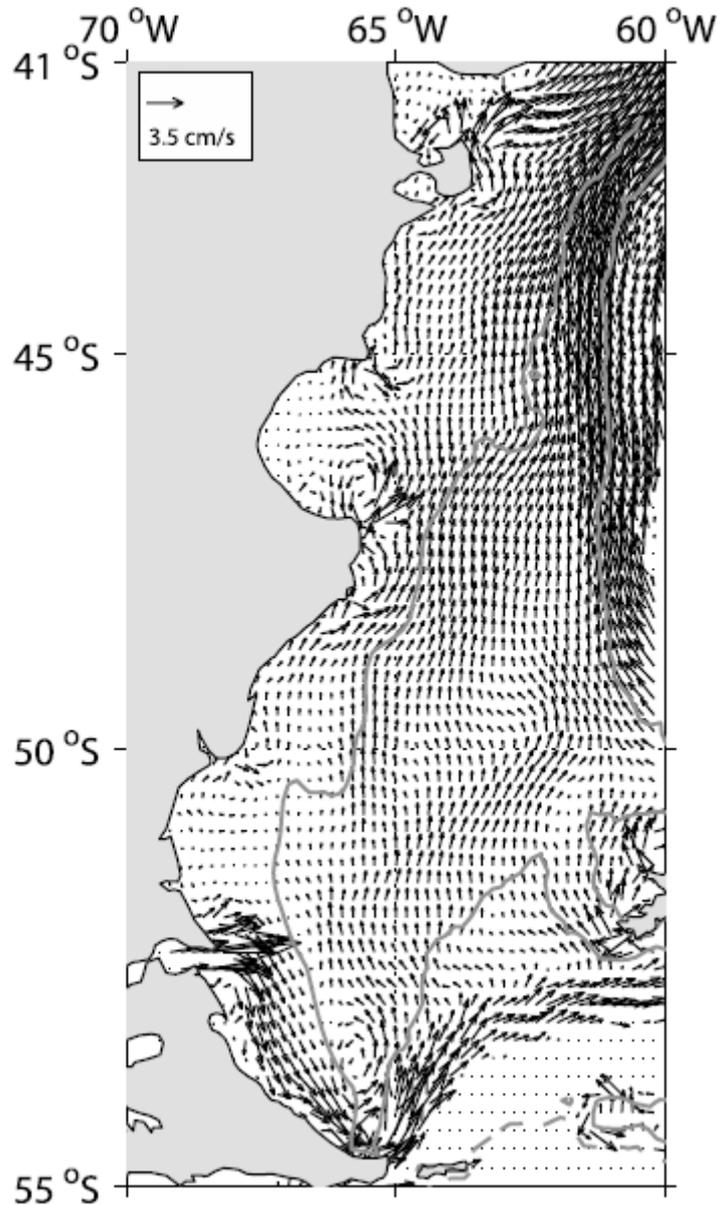


Figura 22. Vectores de la velocidad promedio en la vertical sobre la plataforma continental patagónica, resultantes de la simulación numérica que incluye todos los forzantes que actúan en la región. Las líneas grises indican las isobatas de 100 m y 200 m. Fuente: Palma y Matano (2012).

### 2.3 MAREAS

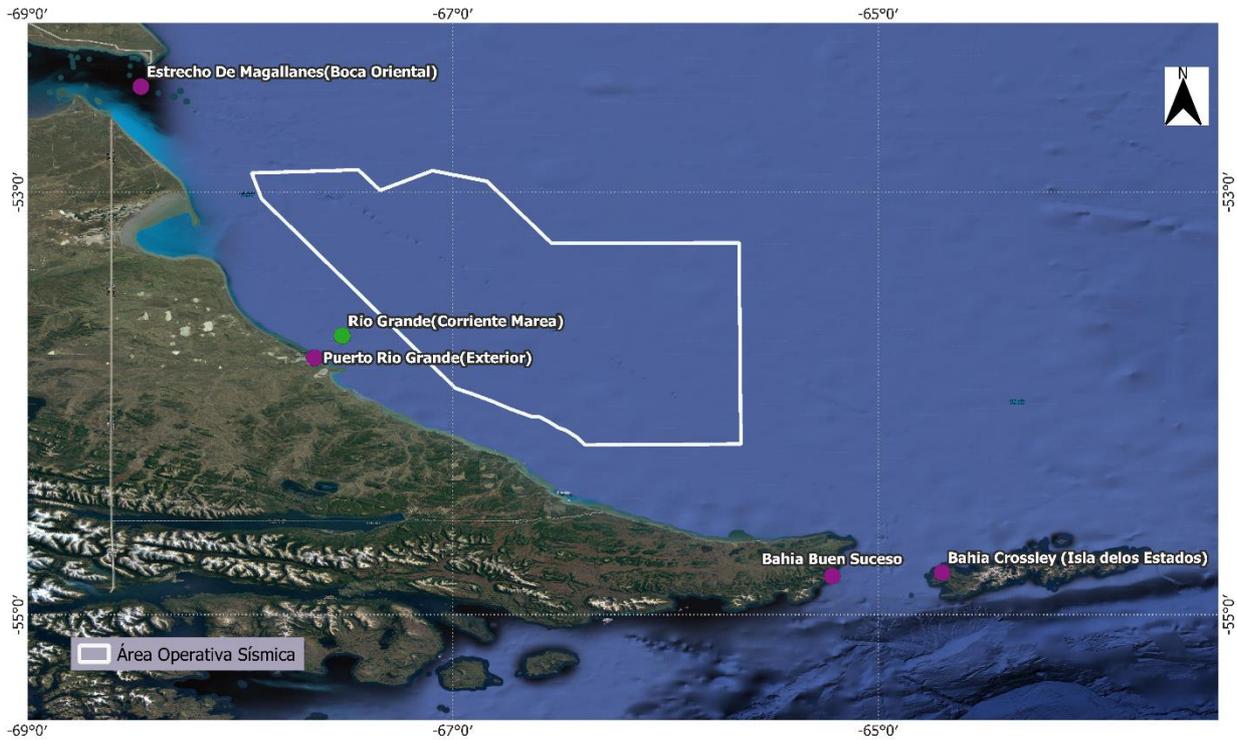
En el Área Operativa Sísmica (AOs), ubicada sobre la plataforma continental y cercanas a la costa, además de las corrientes marinas globales se generan velocidades de marea de magnitudes significativas (debido a que la zona está sujeta a un régimen macromareal), con direcciones aproximadamente perpendiculares a la costa.

La corriente frente a Puerto Río Grande (ver ubicación en Figura 23) puede alcanzar valores del orden de 1 m/s, como se ilustra en la Figura 24 elaborada como ejemplo en base al pronóstico de enero de 2020 del Servicio de Hidrografía Naval.

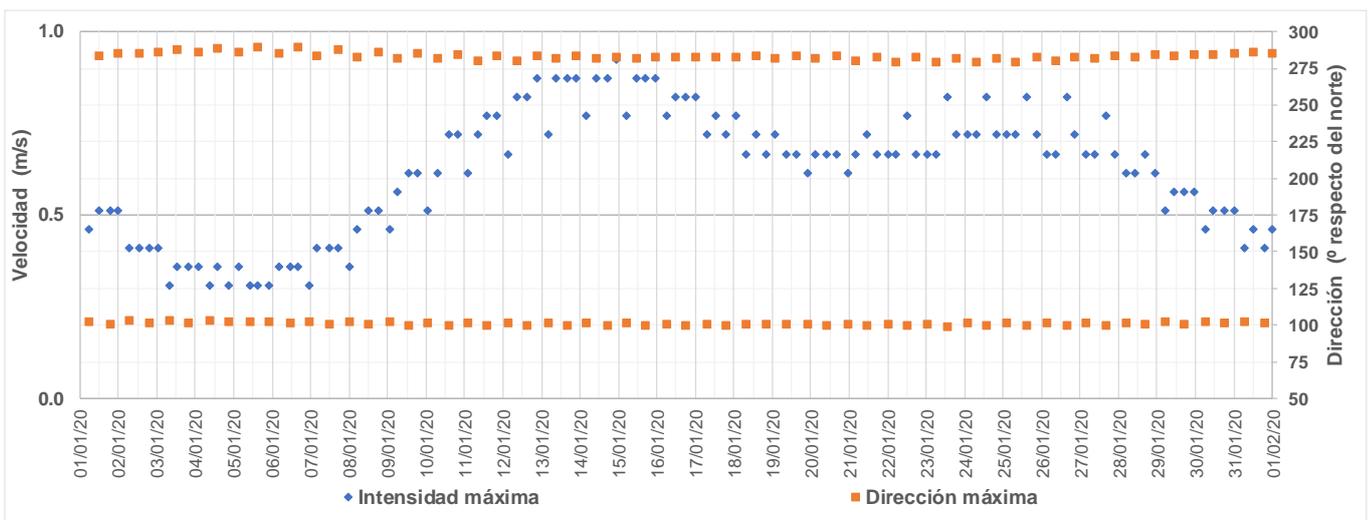


Ing. MARIANO MICULICICH  
 Director  
 SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Dado que la amplitud de marea se reduce a medida que aumenta la distancia a la costa (Figura 25 y Figura 26), estas velocidades se van atenuando hacia los sectores más alejados de la misma dentro del área de exploración sísmica.



**Figura 23. Ubicación de las estaciones de pronóstico de mareas (violeta: pronóstico de alturas, verde: pronóstico de corrientes) del Servicio de Hidrografía Naval. Se muestra el polígono (blanco) correspondiente al Área Operativa Sísmica del proyecto.**



**Figura 24. Corriente de marea frente a Puerto Río Grande. Fuente: elaboración propia, a partir del pronóstico de mareas cada 6 horas publicado por el Servicio de Hidrografía Naval para el mes de enero de 2020.**



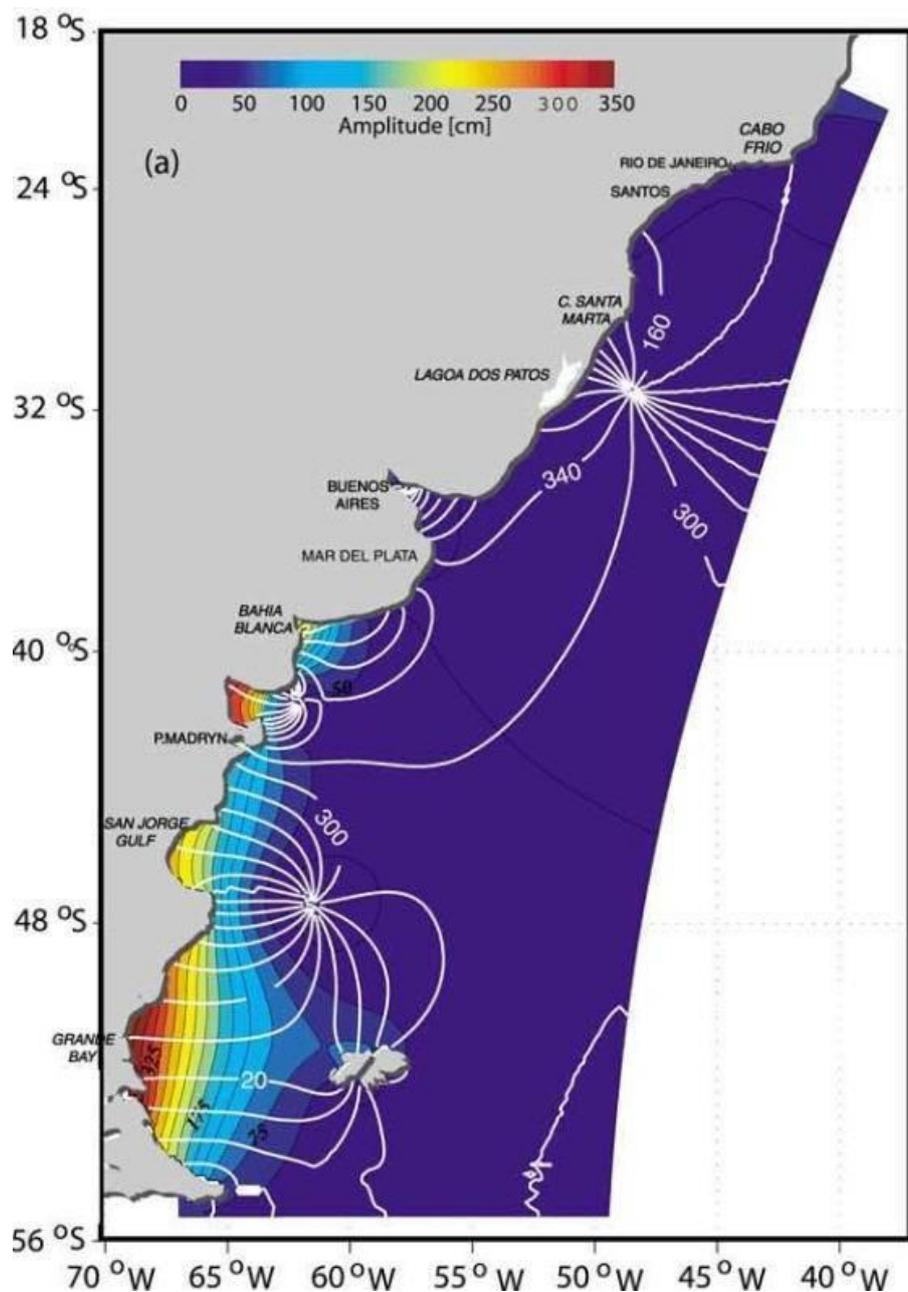


Figura 25. Carta cotidal (cada 20°) y de isoamplitudes (cada 25 cm) de la componente principal lunar de marea (M2). Amplitud: Amplitud. Fuente: Palma et al. (2004).



Ing. MARIANO MICULICH  
 Director  
 SERMAN & ASOCIADOS S.A.

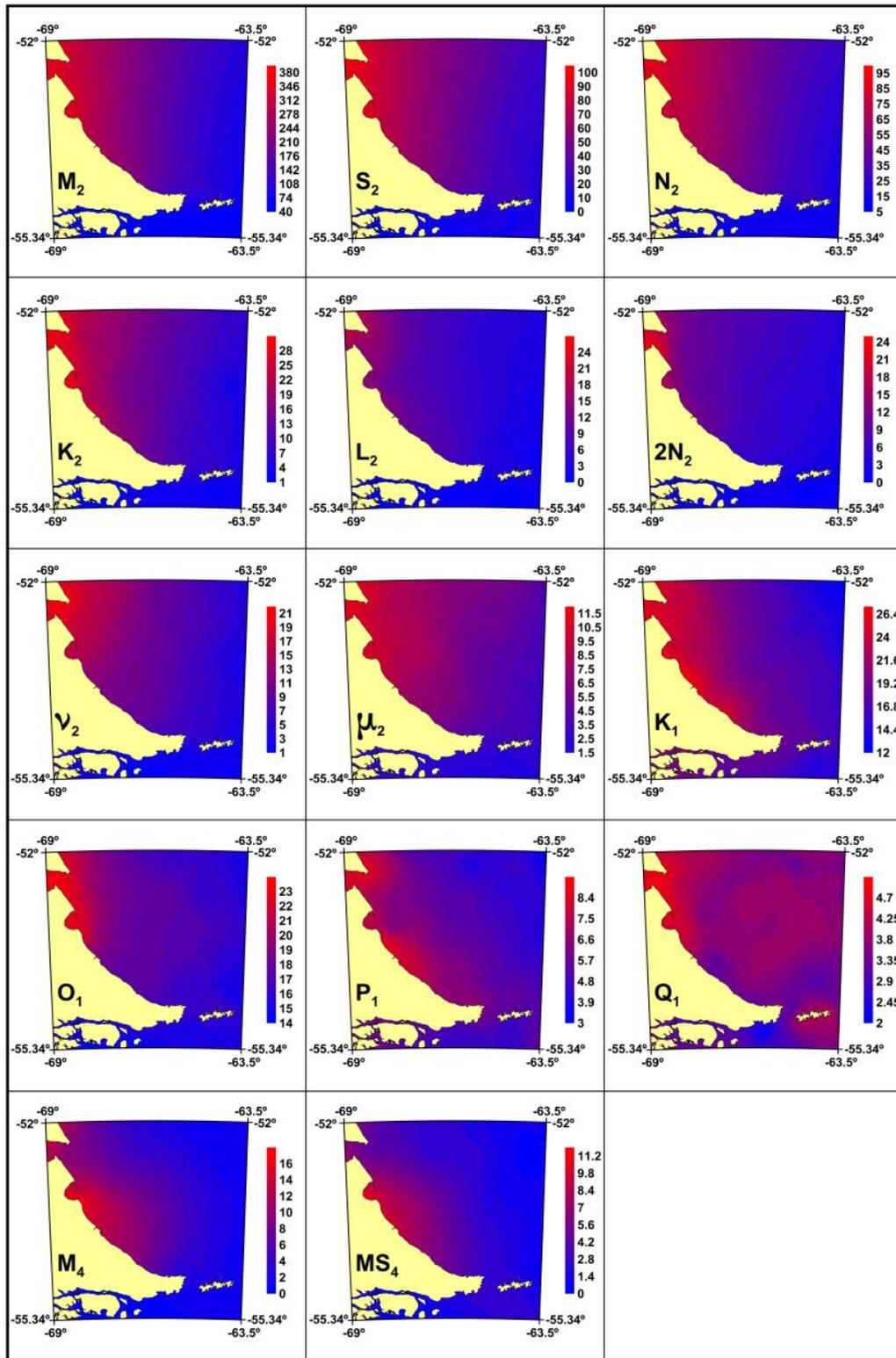


Figura 26. Cartas de isoamplitudes (expresadas en centímetros) para las principales componentes de marea, diurnas y semidiurnas. Información de base: alturas del nivel del mar de estaciones de marea y altimetría satelital. Fuente: D’Onofrio et al. (2016).



En la Tabla 6 se presenta el pronóstico 2020 de altura de marea realizado por el Servicio de Hidrografía Naval para la estación Puerto Río Grande y tres estaciones más de la zona de estudio. En ella se puede observar claramente que a lo largo de la costa este de la Isla Grande de Tierra del Fuego la amplitud de la marea disminuye hacia el sur a partir de un valor de 11 m (amplitud máxima) en la boca oriental del estrecho de Magallanes. En Río Grande la amplitud máxima es del orden de 8,5 m y, en cercanías del canal de Beagle (ver ubicación de las estaciones en la Figura 23), ésta desciende a valores del orden de los 2 m a 3 m.

Este patrón puede observarse también en la Figura 25 (carta cotidal y de isoamplitud para la componente principal lunar de marea M2) y la Figura 26 (cartas de isoamplitudes para las principales componentes diurnas y semidiurnas). Es decir que la amplitud de la marea a lo largo de la costa este de la Isla Grande de Tierra del Fuego no solo disminuye costa afuera sino también en dirección sur.

**Tabla 6. Alturas de marea (metros sobre el plano de reducción), correspondientes al pronóstico de mareas 2020 del Servicio de Hidrografía Naval.**

Puerto Patrón	Pleamar (m)		Bajamar (m)		Amplitud (m)		Nivel Medio (m)
	Máxima	Media	Más baja	Media	Máxima	Media	
ESTRECHO DE MAGALLANES (Boca Oriental)	11,3	9,21	0,14	2,35	11,1	6,86	5,85
PUERTO RIO GRANDE (Exterior)	8,68	7,35	0,16	1,93	8,45	5,42	4,80
BAHIA BUEN SUCESO	2,39	2,00	0,03	0,56	2,33	1,44	1,28
BAHIA CROSSLEY (Isla de los Estados)	2,92	2,46	0,03	0,71	2,73	1,75	1,58

## 2.4 CLIMA DE OLAS

El régimen de viento en el área de estudio genera un mar muy movido en todas las estaciones del año con olas de altura y dirección variables. En este sentido, el aumento en el estado del mar (*sea-state*) se genera típicamente como resultado del paso de tormentas locales a través del Pasaje de Drake y sobre América del Sur. El paso de tormentas desde el oeste genera rápidamente incrementos en el estado del mar, pero que no persisten por más de 2 o 3 días, a menos que la zona se vea afectada por una sucesión de tormentas consecutivas (Upton y Shaw, 2002).

Información del clima de olas también está disponible a través de distintos modelos globales. Aquella provista por el Global Atlas of Ocean Waves (período 1970-2011) se presenta a continuación.

El Global Atlas of Ocean Waves está basado en observaciones VOS (Programa de Buques de Observación Voluntaria) y es el resultado de un proyecto de cooperación financiado por la Unión Europea cuyos participantes son: P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science (Moscow); Southampton Oceanography Centre (Southampton); y Royal Netherlands Meteorological Institute (De Bilt).

En la Figura 27 se muestra la altura significativa de ola media anual, de acuerdo a dicha fuente, y en la Figura 28, los correspondientes períodos.



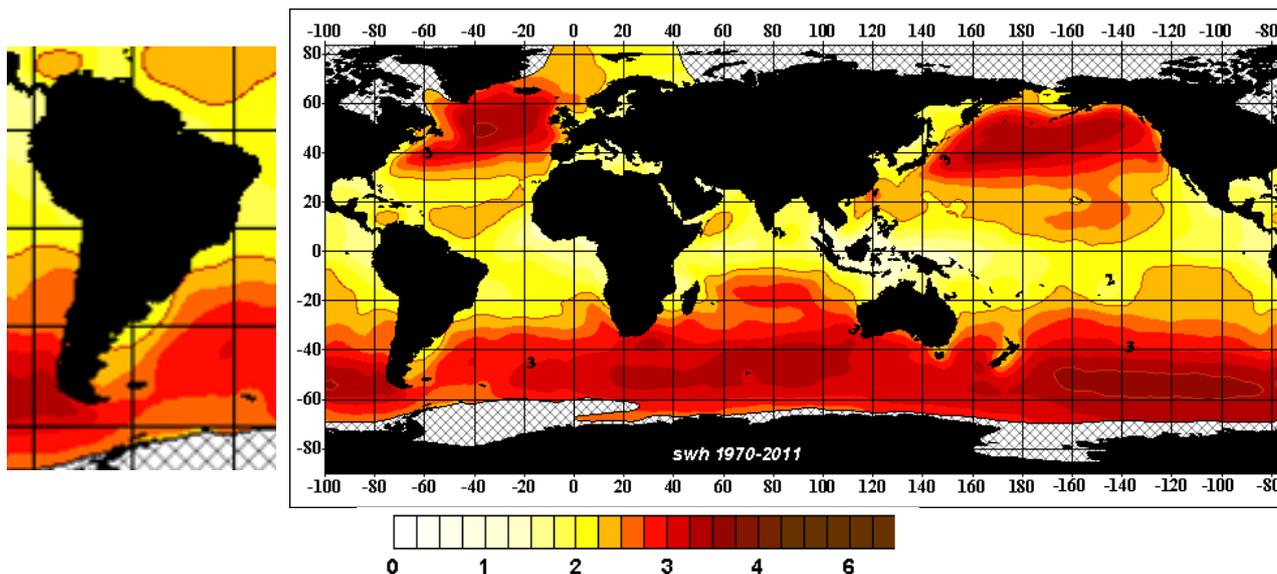


Figura 27. Altura significativa de ola media anual (en metros) para el período 1971-2005. Fuente: Global Atlas of Ocean Waves.

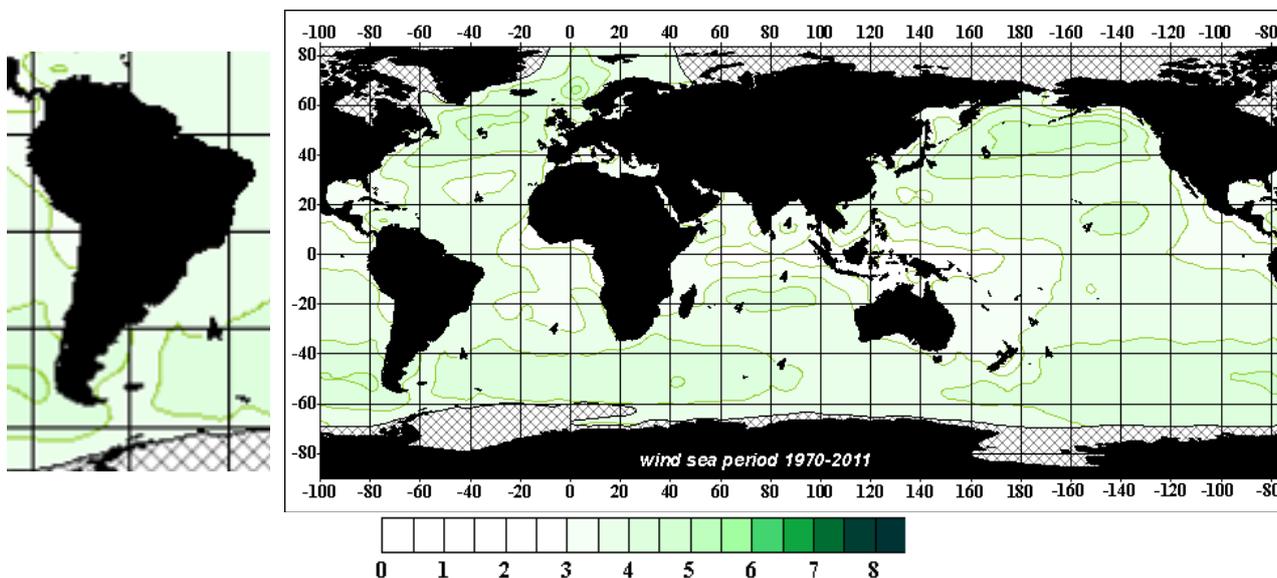


Figura 28. Período de ola medio anual (en segundos) para el período 1971-2005. Fuente: Global Atlas of Ocean Waves.

Se presenta a continuación el análisis de series de datos de olas del proyecto IOWAGA (Integrated Ocean Waves for Geophysical and other Applications), desarrollado por el instituto de investigación IFREMER (Francia). El modelo numérico aplicado en la obtención de la base de datos corresponde al WAVE-WATCH III, el cual es un modelo de oleaje de tercera generación desarrollado por la NOAA/NCEP (National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Predictions). El mismo fue implementado en su modalidad de grilla GLOBAL, con vientos provenientes de la base de ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts).

Los datos se encuentran organizados por mes y con un intervalo de tiempo de 3 horas. El tamaño de celda del modelo varía según la zona, desde la grilla de costa atlántica francesa con una resolución de  $1/30^\circ$  hasta la grilla GLOBAL con una resolución de  $0,5^\circ$ .



La información suministrada por esta base de datos contempla no solo la descripción del espectro total de energía correspondiente a cada instante del registro, sino que además entrega información específica sobre la componente energética aportada por el oleaje generado por vientos locales (*sea*) y por las distintas componentes principales asociadas al oleaje oceánico propagado desde diferentes zonas de generación (*swell*).

Validaciones mensuales con mediciones de boyas han demostrado una confiabilidad excelente de este modelo.

En la Figura 29 se muestra un mapa del Área Operativa Sísmica y de dos nodos IFREMER ubicados en la zona.

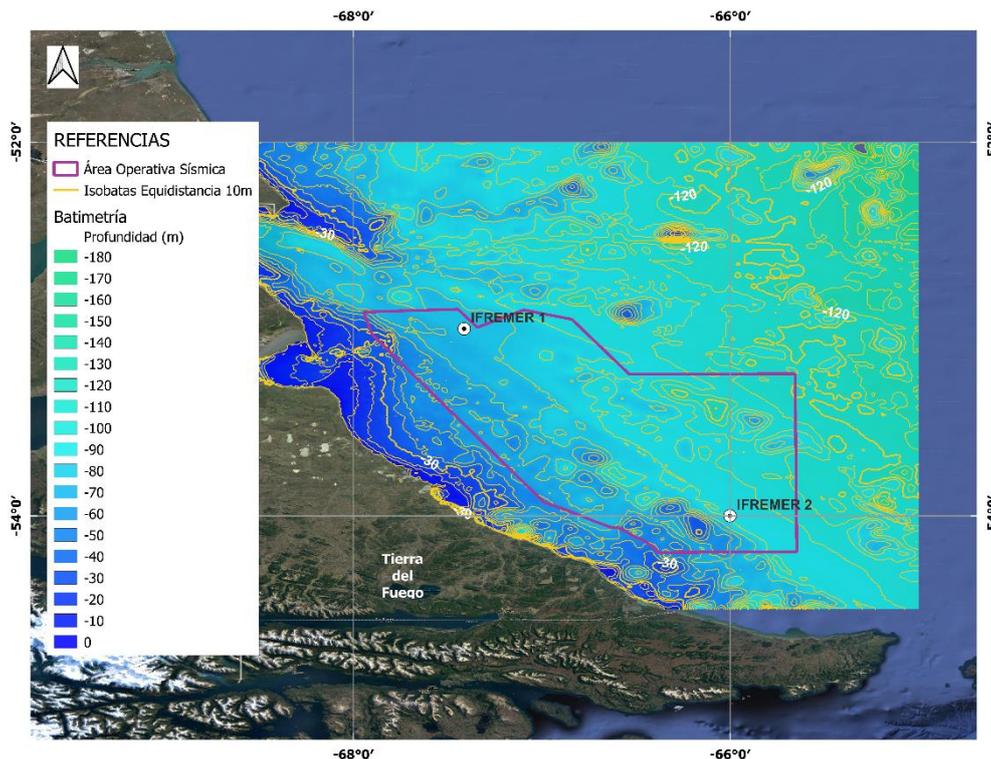


Figura 29. Ubicación de los nodos de la base de datos IFREMER analizados, sobre la batimetría de la región de estudio. Fuente de la batimetría: base global de datos GEBCO “The General Bathymetric Chart of the Oceans”: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)

De estos nodos se extrajeron datos de altura significativa (*hs*), período pico (*tp*) y dirección pico (*dp*) del oleaje para los últimos 10 años completos (período 2009 a 2018).

Las distribuciones direccionales para la *hs* y el *tp* del oleaje se presentan en la Figura 30 y la Tabla 7 para el nodo 1 y en la Figura 31 y la Tabla 8 para el nodo 2.

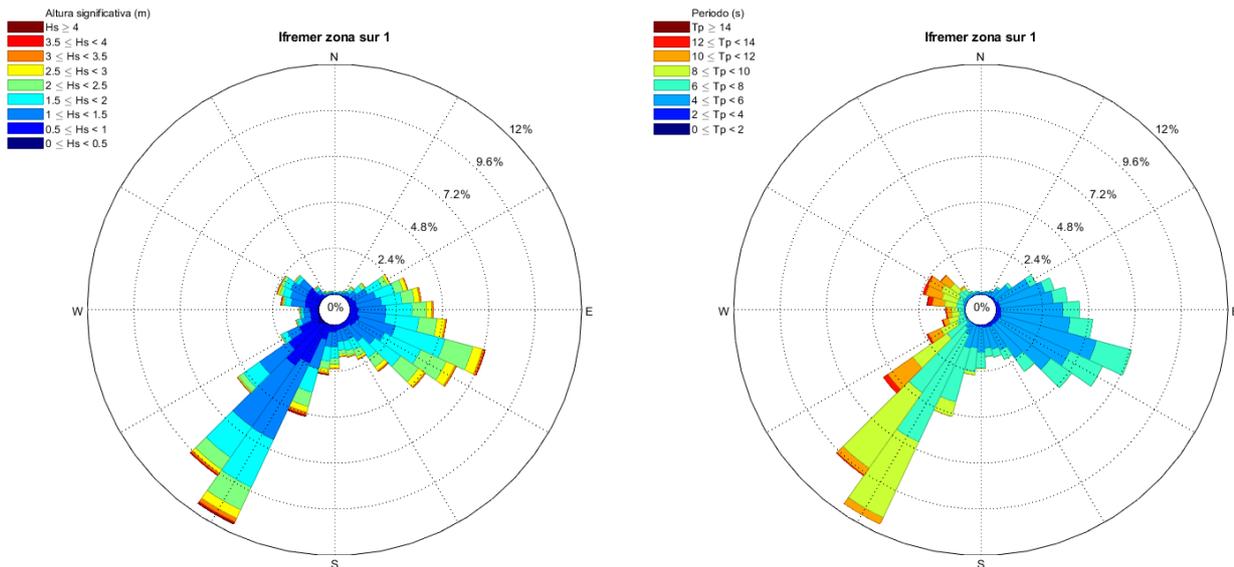
En ambos nodos se observa que las olas tienen dos direcciones principales, SSO y ESE, siendo las primeras las de períodos más largos, superando los 12 s. Este oleaje que se dirige hacia el SSO se trata de *swell* marino, correspondiente a olas de período regular, en general mayores a los 8 segundos, que se propagan en océano abierto varios kilómetros lejos de su zona de generación casi sin pérdida de energía.



Las olas de períodos más cortos (menores a los 8 segundos) corresponden a sea u ola de viento. Este oleaje que se dirige hacia el ESE, de períodos menos regulares que el *swell*, es generado localmente debido a los vientos de la zona.

En ambos nodos las mayores alturas corresponden, principalmente, al oleaje que se dirige hacia las direcciones SO al SE.

Las olas más altas alcanzan valores de 6,5 m en los dos nodos estudiados.

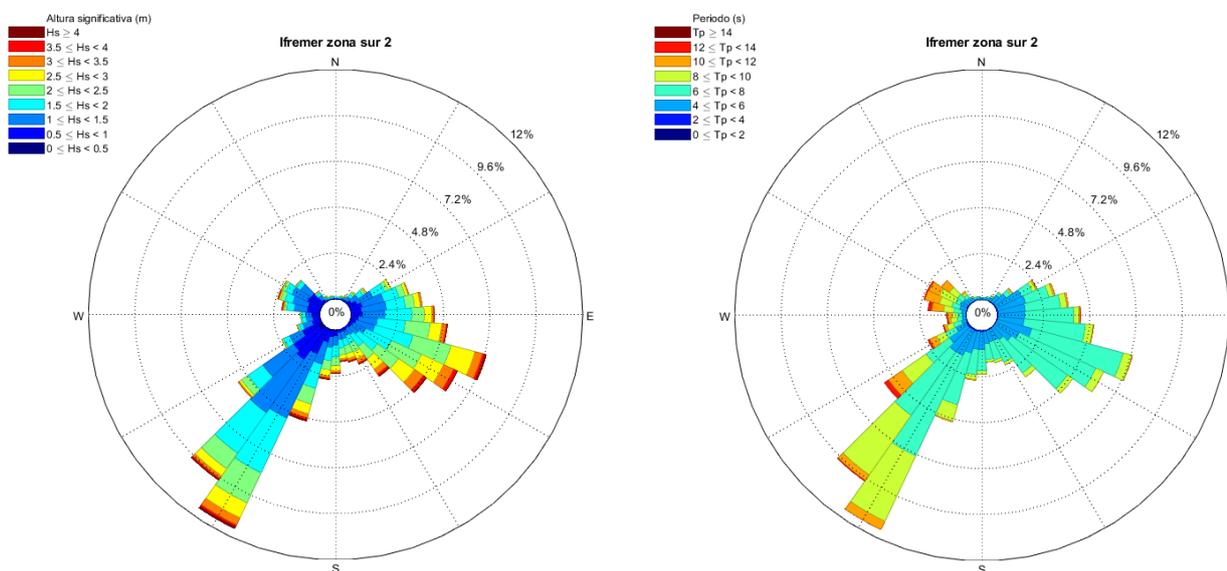



**Tabla 7. Análisis estadístico direccional de altura significativa de ola para la serie 2009-2018 en el nodo IFREMER 1 (arriba: número de eventos; abajo: %).**

Dirección	Altura significativa (m)											Total
	0 - 0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	>5	
N	2	25	65	73	35	10	4	1	0	0	0	215
NE	7	202	530	514	224	79	18	2	3	0	0	1579
E	12	519	1836	1959	1068	421	104	23	3	0	0	5945
SE	10	450	1569	1846	1217	398	81	13	5	2	1	5592
S	19	456	1096	920	491	212	80	27	14	7	5	3327
SW	168	2399	3338	1880	774	246	102	42	22	13	4	8988
W	94	618	669	301	103	53	34	22	6	1	0	1901
NW	45	577	617	261	116	30	14	6	3	0	0	1669
<b>Total</b>	<b>357</b>	<b>5246</b>	<b>9720</b>	<b>7754</b>	<b>4028</b>	<b>1449</b>	<b>437</b>	<b>136</b>	<b>56</b>	<b>23</b>	<b>10</b>	<b>29216</b>

Dirección	Altura significativa (m)											Total
	0 - 0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	>5	
N	<0,1%	<0,1%	0.2%	0.2%	0.1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	0%	0.7%
NE	<0,1%	0.7%	1.8%	1.8%	0.8%	0.3%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	5.4%
E	<0,1%	1.8%	6.3%	6.7%	3.7%	1.4%	0.4%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	20.3%
SE	<0,1%	1.5%	5.4%	6.3%	4.2%	1.4%	0.3%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	19.1%
S	<0,1%	1.6%	3.8%	3.1%	1.7%	0.7%	0.3%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	11.4%
SW	0.6%	8.2%	11.4%	6.4%	2.6%	0.8%	0.3%	0.1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	30.8%
W	0.3%	2.1%	2.3%	1.0%	0.4%	0.2%	0.1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	6.5%
NW	0.2%	2.0%	2.1%	0.9%	0.4%	0.1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	5.7%
<b>Total</b>	<b>1.2%</b>	<b>18.0%</b>	<b>33.3%</b>	<b>26.5%</b>	<b>13.8%</b>	<b>5.0%</b>	<b>1.5%</b>	<b>0.5%</b>	<b>0.2%</b>	<b>&lt;0,1%</b>	<b>&lt;0,1%</b>	<b>100%</b>



**Figura 31. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 2. hs izquierda, tp derecha, período 2009 a 2018.**



**Tabla 8. Análisis estadístico direccional de altura significativa de ola para la serie 2009-2018 en el nodo IFREMER 2 (arriba: número de eventos; abajo: %).**

Dirección	Altura significativa (m)											Total
	0 - 0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	>5	
N	1	58	158	154	82	42	15	2	1	0	0	513
NE	1	74	349	256	122	48	5	1	1	1	0	858
E	1	110	371	335	169	100	21	3	2	0	0	1112
SE	23	833	2358	3204	2719	1744	754	235	58	21	9	11958
S	23	857	1969	1958	1195	670	302	112	49	13	21	7169
SW	156	1282	1476	801	302	128	42	18	10	7	4	4226
W	56	648	640	344	140	49	34	35	9	1	0	1956
NW	34	568	502	206	77	25	11	1	0	0	0	1424
<b>Total</b>	<b>295</b>	<b>4430</b>	<b>7823</b>	<b>7258</b>	<b>4806</b>	<b>2806</b>	<b>1184</b>	<b>407</b>	<b>130</b>	<b>43</b>	<b>34</b>	<b>29216</b>

Dirección	Altura significativa (m)											Total
	0 - 0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	>5	
N	<0,1%	0.2%	0.5%	0.5%	0.3%	0.1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	1.8%
NE	<0,1%	0.3%	1.2%	0.9%	0.4%	0.2%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	2.9%
E	<0,1%	0.4%	1.3%	1.1%	0.6%	0.3%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0.0%	0%	3.8%
SE	<0,1%	2.9%	8.1%	11.0%	9.3%	6.0%	2.6%	0.8%	0%	<0,1%	<0,1%	40.9%
S	<0,1%	2.9%	6.7%	6.7%	4.1%	2.3%	1.0%	0.4%	0.2%	<0,1%	<0,1%	24.5%
SW	0.5%	4.4%	5.1%	2.7%	1.0%	0.4%	0.1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	14.5%
W	0.2%	2.2%	2.2%	1.2%	0.5%	0.2%	0.1%	0.1%	<0,1%	<0,1%	0%	6.7%
NW	0.1%	1.9%	1.7%	0.7%	0.3%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	0%	4.9%
<b>Total</b>	<b>1.0%</b>	<b>15.2%</b>	<b>26.8%</b>	<b>24.8%</b>	<b>16.4%</b>	<b>9.6%</b>	<b>4.1%</b>	<b>1.4%</b>	<b>0.4%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.1%</b>	<b>100%</b>

El análisis estacional de las series temporales de olas se presentan en la Figura 32 (hs) y Figura 33 (tp) para el nodo 1 y en la Figura 34 (hs) y Figura 35 (tp) para el nodo 2.

De la misma manera que lo observado para los vientos (Figura 63 y Figura 64), se registran mayores alturas de olas durante el otoño y el invierno.



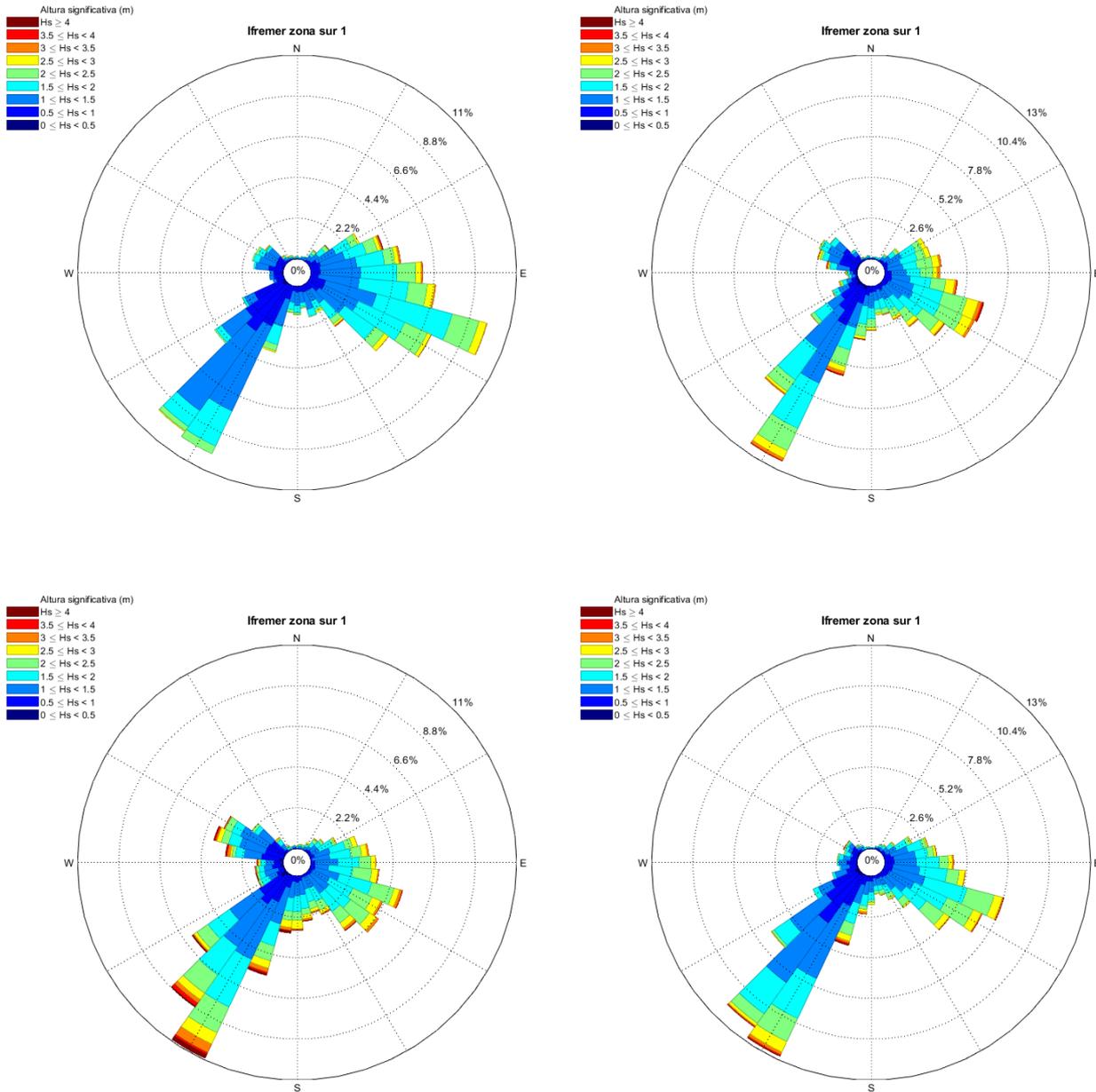
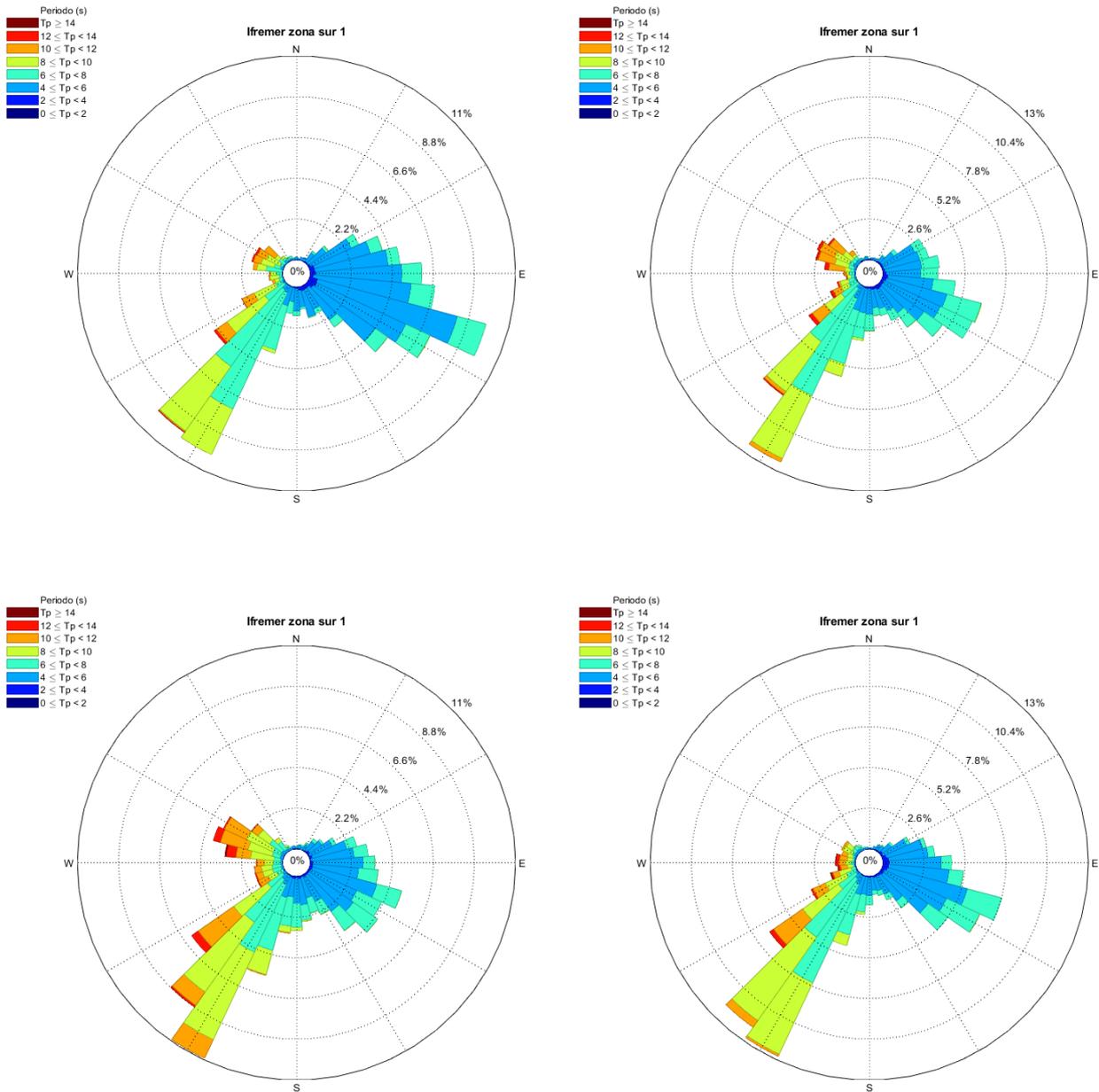
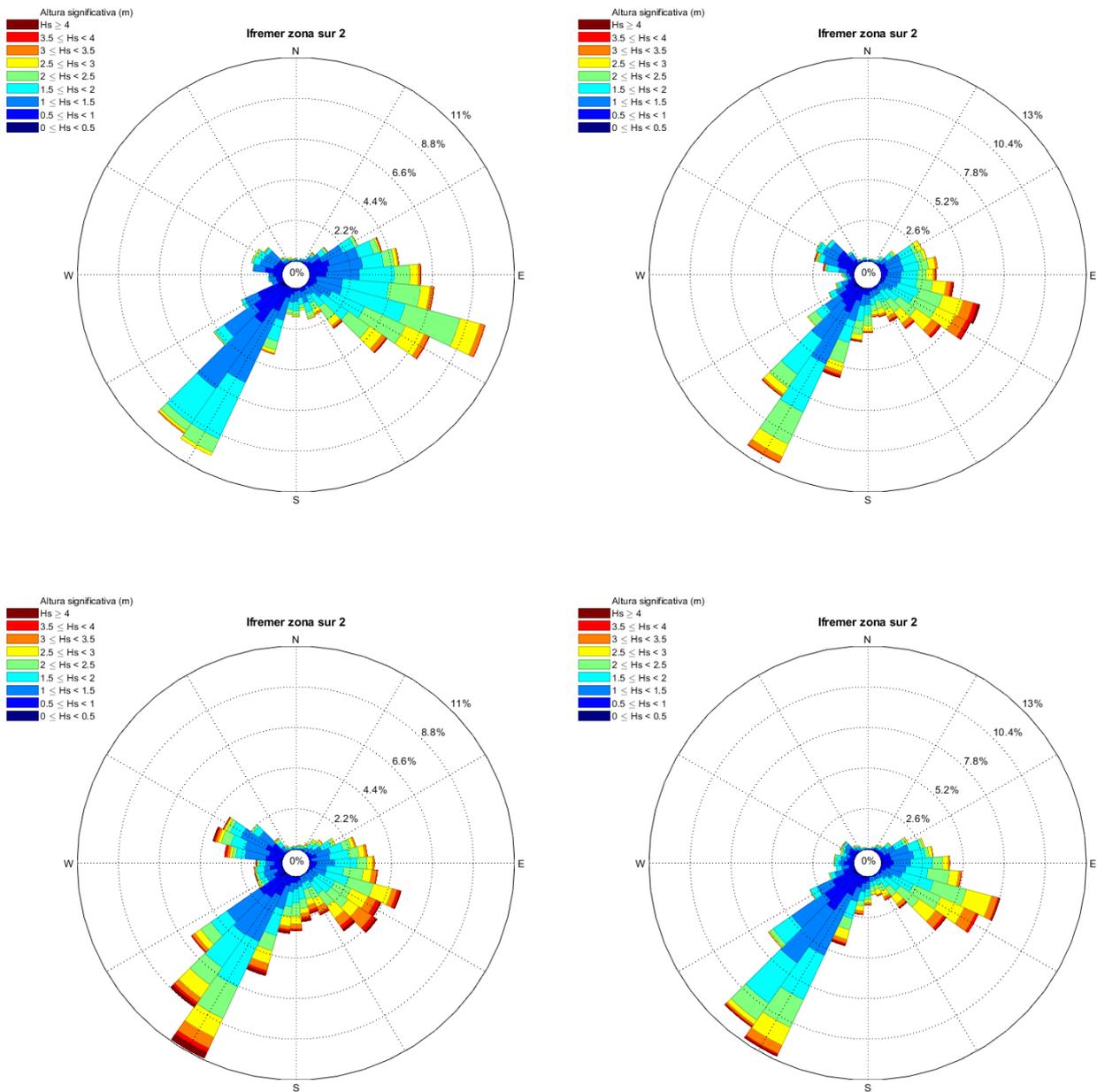


Figura 32. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 1, hs dividida por estación, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera.



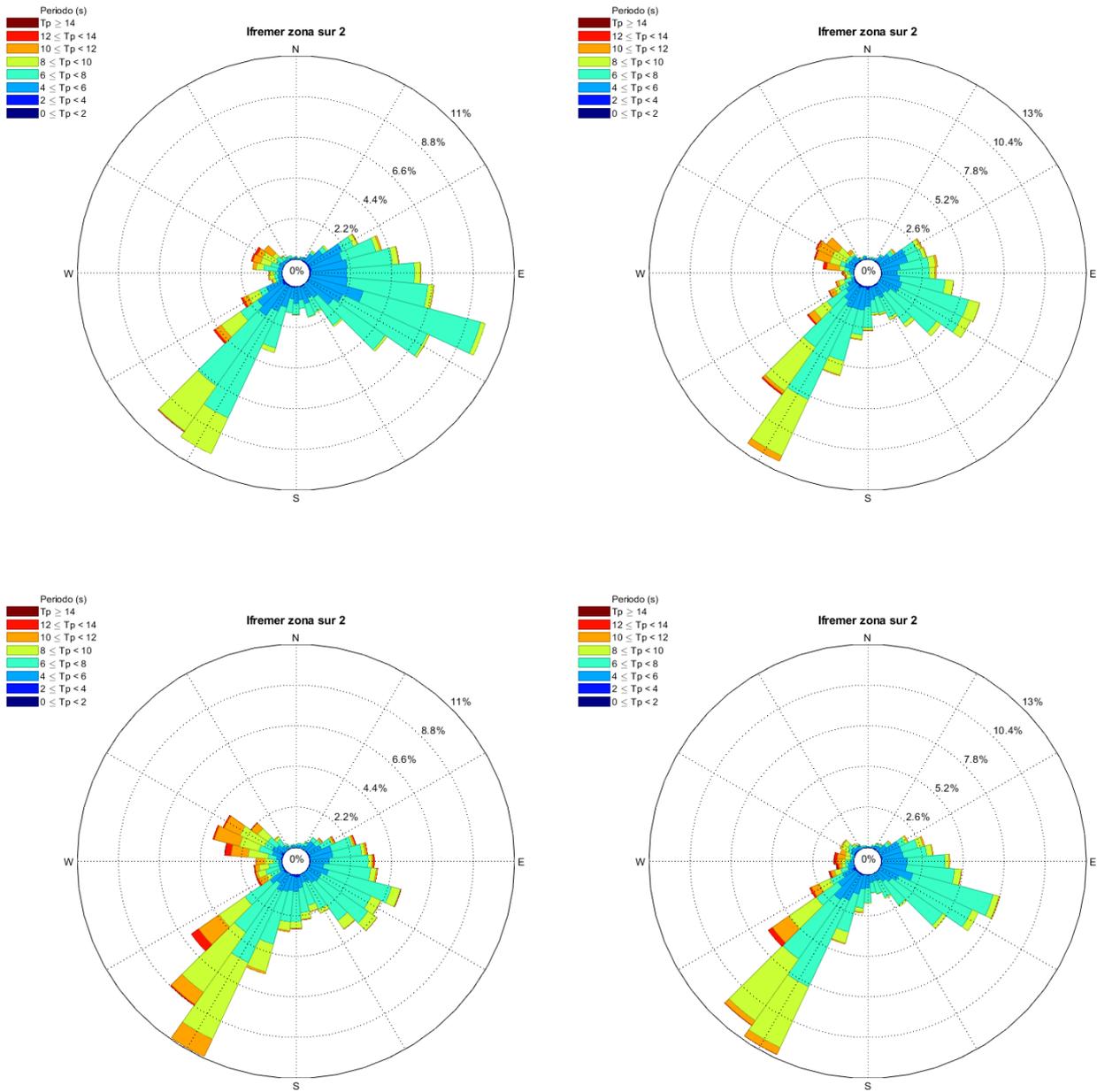
**Figura 33. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 1, tp dividido por estación, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera.**





**Figura 34. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 2, hs dividida por estación, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera.**





**Figura 35. Distribución direccional del oleaje para el nodo IFREMER 2, tp dividido por estación, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera.**

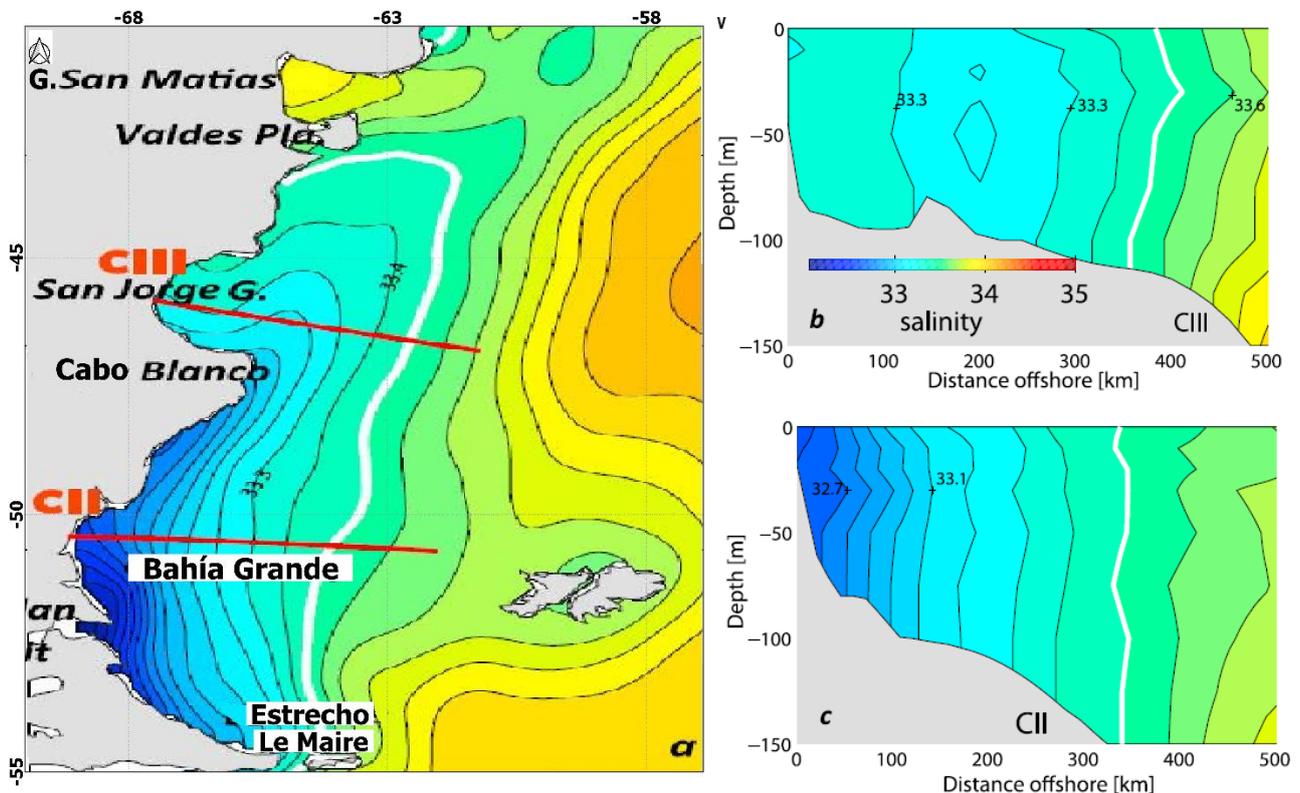


## 2.5 PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO Y FITOPLANCTON

### 2.5.1 Distribución de los parámetros Temperatura y Salinidad

De acuerdo con lo descrito anteriormente, la región de estudio está sometida a la influencia de las aguas de baja salinidad que entran a través del estrecho de Magallanes y a fuertes corrientes de marea y vientos del oeste que inducen una gran mezcla de la columna de agua.

El límite de esta influencia, determinado por la isohalina de 33,5 UPS (Bianchi et al, 2005), así como la gran mezcla que presenta la columna de agua, pueden observarse en la Figura 36, correspondiente a la salinidad climatológica de la plataforma patagónica (Palma y Matano, 2012). La pluma se extiende desde la superficie hasta el fondo, su escala offshore es de 300 km y su escala vertical (profundidad máxima que alcanza) es de 120 m.



**Figura 36. (a) Campo climatológico, derivado de observaciones, de la salinidad superficial de la plataforma patagónica. (b y c) Secciones climatológicas de salinidad correspondientes a las transectas CIII y CII. La línea blanca corresponde a la isohalina de 33,5 UPS. Depth: Profundidad. Distance offshore: Distancia en alta mar. Salinity: Salinidad. Fuente: Palma y Matano (2012).**

Un detalle de esta figura se muestra en la Figura 37, en la que se ha representado el área operativa del proyecto. Es posible observar que ésta se encuentra comprendida dentro de la zona de influencia de la pluma de Magallanes, cuyo límite está determinado por la isohalina de 33,5 UPS (Bianchi et al., 2005). Los valores de salinidad en el área de estudio varían entre 32,6 UPS (cerca de la costa) y 33,2 UPS (en el borde offshore).



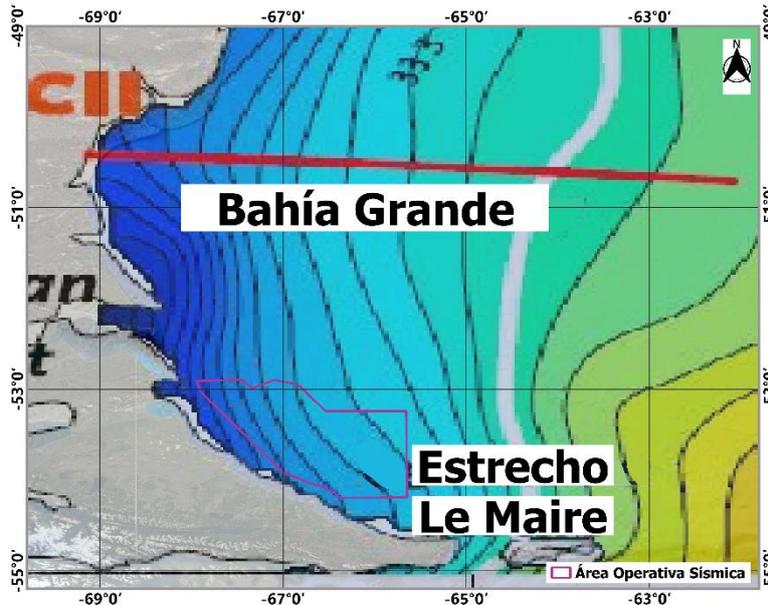


Figura 37. Campo climatológico derivado de observaciones, sobre imagen de Google Earth, de la salinidad superficial de la región de estudio. La línea blanca corresponde a la isohalina de 33,5. UPS. El polígono magenta corresponde al Área Operativa sísmica del proyecto. Fuente: modificado de Palma y Matano (2012).

Sabatini et al. (2004) analizaron datos de salinidad y temperatura obtenidos hacia el fin de los veranos del período 1994-2000. La posición de las estaciones CTD realizadas durante las campañas se muestran en la Figura 38.

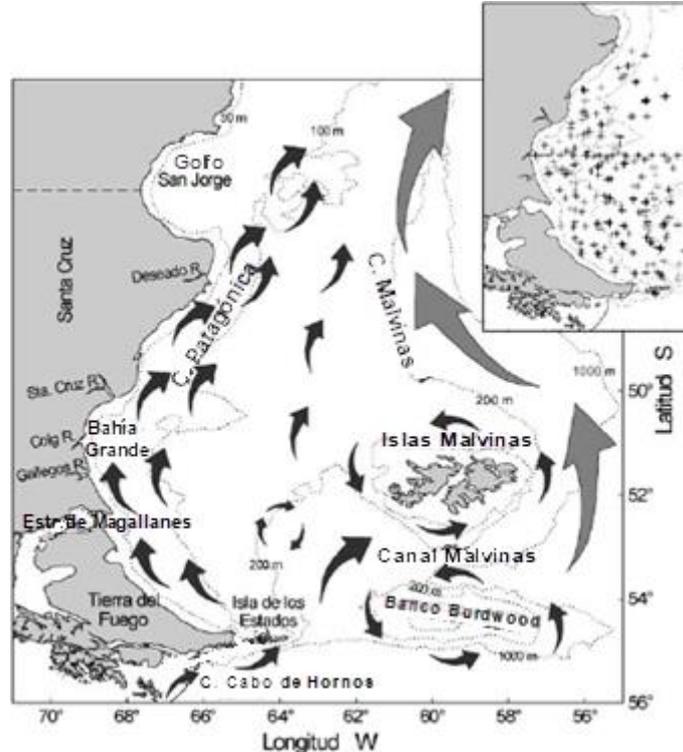
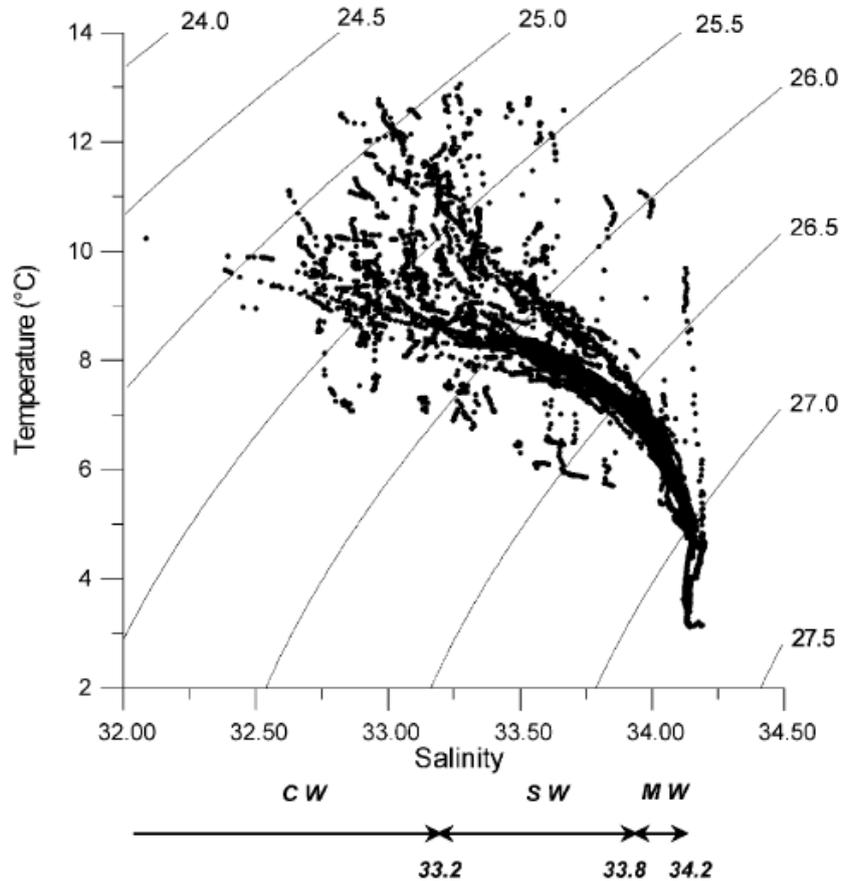


Figura 38. Circulación general superficial en la plataforma patagónica (las flechas son proporcionales a la velocidad) según Sabatini et al. (2004), mostrándose las posiciones de las estaciones CTD realizadas hacia fines de los veranos del período 1994-2000. Nota: la corriente Patagónica se refiere a la denominación de Brandhorst y Castello (1971).



El diagrama T-S obtenido a partir de estas observaciones se muestra en la Figura 39. En el mismo se destacan el agua costera o agua costera de baja salinidad (Coastal Water -CW-), el agua de plataforma (Shelf Water -SW-) y el agua de Malvinas (Malvinas Water -MW-).



**Figura 39. Diagrama T-S de la plataforma patagónica correspondiente al fin del verano. Se distinguen el agua costera o agua costera de baja salinidad (Coastal Water -CW-), el agua de plataforma (Shelf Water -SW-) y el agua de Malvinas (Malvinas Water -MW-). Temperature: Temperatura. Salinity: Salinidad. Fuente: Sabatini et al. (2004).**

La estructura vertical de la columna de agua puede apreciarse en la Figura 40, Figura 41, Figura 42 y Figura 43.

En la región cercana a la costa (<100 m), la estructura es altamente homogénea, aspecto relacionado con la fuerte mezcla vertical que caracteriza la región. La estructura cuasi isotérmica no se presenta en toda el área de mediciones sino solamente en la región más austral (ver Figura 40). Se manifiesta un cambio abrupto de la estructura térmica cerca de los 51°S; hacia el norte la columna de agua puede caracterizarse como un sistema de dos capas separadas por una importante termoclina localizada a 50 m de profundidad, mientras que hacia el sur la estructura es cuasi isotérmica. A pesar de que parte de este patrón pueda deberse a las variaciones latitudinales de la radiación solar, la magnitud de los gradientes de la temperatura superficial (Figura 41) indica la existencia de diferencias existentes en los procesos de la dispersión y advección horizontal y de la mezcla vertical hacia el norte y hacia el sur de la latitud mencionada (Sabatini et al., 2004).



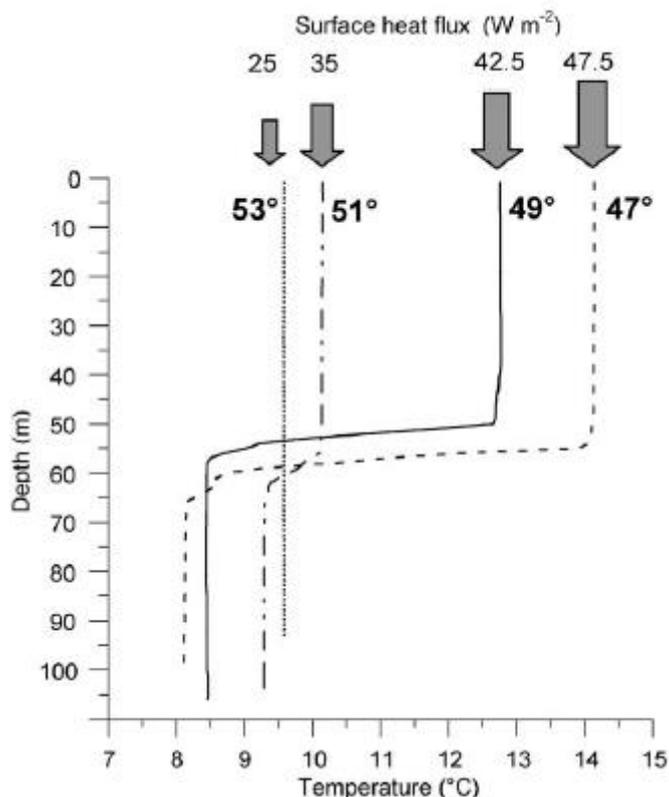
El patrón general de la distribución de la salinidad consiste en un aumento gradual hacia mar adentro y una estructura vertical prácticamente homogénea (Figura 42). Las salinidades superficiales más bajas (32,4-32,8 UPS) se localizan en la región sudoccidental, donde la estructura de salinidad está fuertemente influenciada por la descarga de aguas de baja salinidad a través del estrecho de Magallanes y a través de los ríos de la provincia de Santa Cruz. Las mayores salinidades (33,7-34,1 UPS) fueron registradas en la parte más profunda del sector sudoriental; contrariamente a la temperatura, la distribución espacial en superficie y en el fondo resultan similares (Sabatini et al., 2004).

Las desembocaduras de los tres grandes ríos de la patagonia austral se encuentran muy cercanas entre sí, por lo que es probable que las aguas de baja salinidad descargadas conformen una única y gran intrusión de aguas de baja salinidad cuya penetración mar adentro está incrementada por la importante mezcla derivada de las fuertes mareas y vientos característicos de la región (Sabatini et al., 2004).

De esta manera, y de acuerdo con las mediciones realizadas hacia fines de los veranos de los años 1994 a 2000, la estructura de la masa de agua costera de la plataforma continental puede ser separada en dos regiones. Al norte de 51°S la columna de agua puede ser caracterizada por un sistema de dos capas separadas por una somera termoclina ubicada a 50 m de profundidad. Al sur de 51°S la estructura de densidad de la columna de agua se torna prácticamente homogénea (Figura 43). Las dos regiones están separadas por un frente que se extiende en dirección noreste desde la bahía Grande hasta el talud.

La estructura vertical de la temperatura, la salinidad y la densidad frente a los 51°S (bahía Grande) se presenta en la Figura 44 para la campaña de marzo de 1994 (Sabatini et al., 2004).





**Figura 40. Estratificación térmica de la plataforma patagónica entre las latitudes de 47° S y 53° S correspondiente a mediciones realizadas en marzo de 1999. Con el objeto de ejemplificar los patrones típicos se seleccionaron estaciones CTD ubicadas en la plataforma media sobre la isobata de 100 m. Las flechas son proporcionales al flujo medio de calor (Surface heat flux) sobre la superficie del mar según Esbensen y Kushnir (1981). Depth: Profundidad. Temperature: Temperatura. Fuente: Sabatini et al. (2004).**



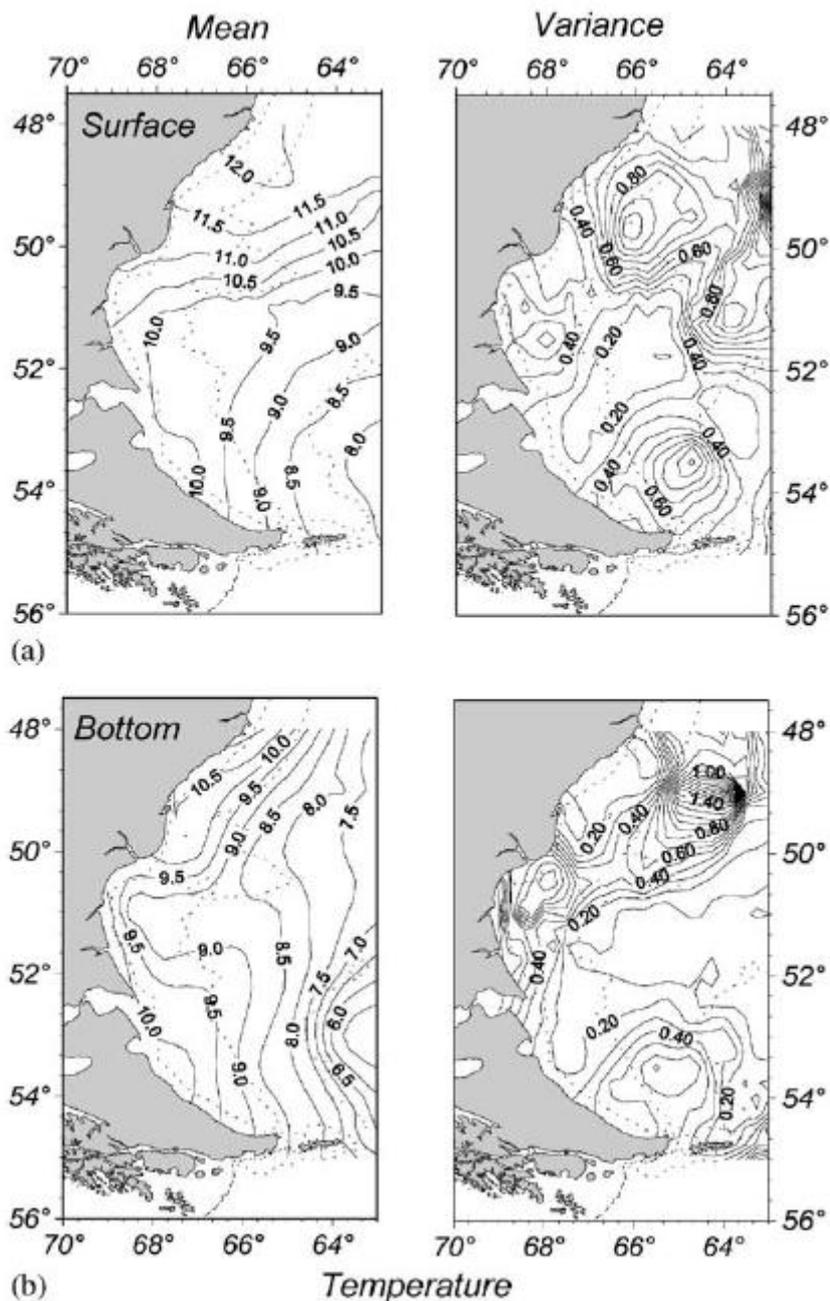


Figura 41. Temperaturas medias y varianzas sobre la plataforma patagónica correspondientes al final de los veranos de los años 1994 a 2000. (a) valores en superficie y (b) valores en el fondo. Mean: Promedio. Variance: Varianza. Surface: Superficie. Bottom: Fondo. Temperature: Temperatura. Fuente: Sabatini et al. (2004).



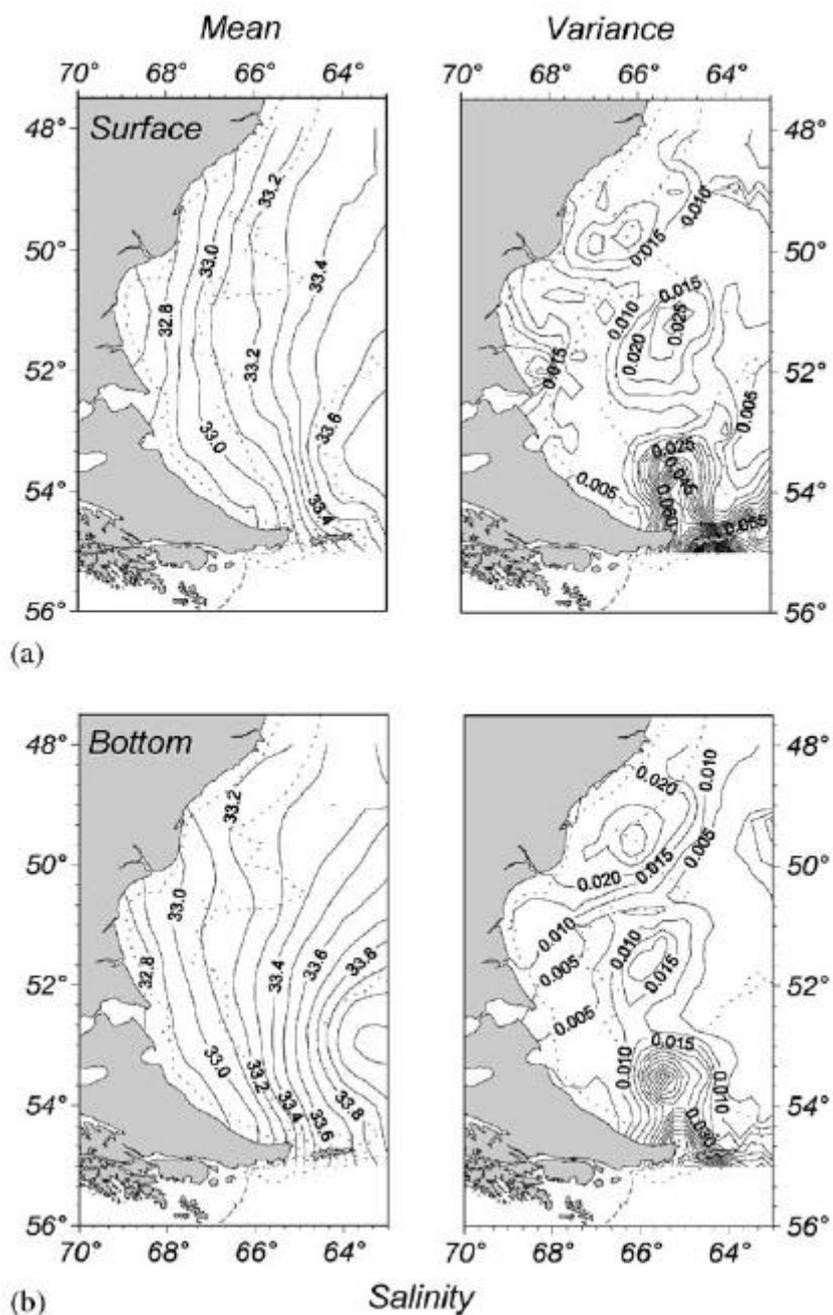


Figura 42. Salinidades medias y varianzas sobre la plataforma patagónica correspondientes al final de los veranos de los años 1994 a 2000. (a) valores en superficie y (b) valores en el fondo. Mean: Promedio. Variance: Varianza. Surface: Superficie. Bottom: Fondo. Salinity: Salinidad. Fuente: Sabatini et al. (2004).



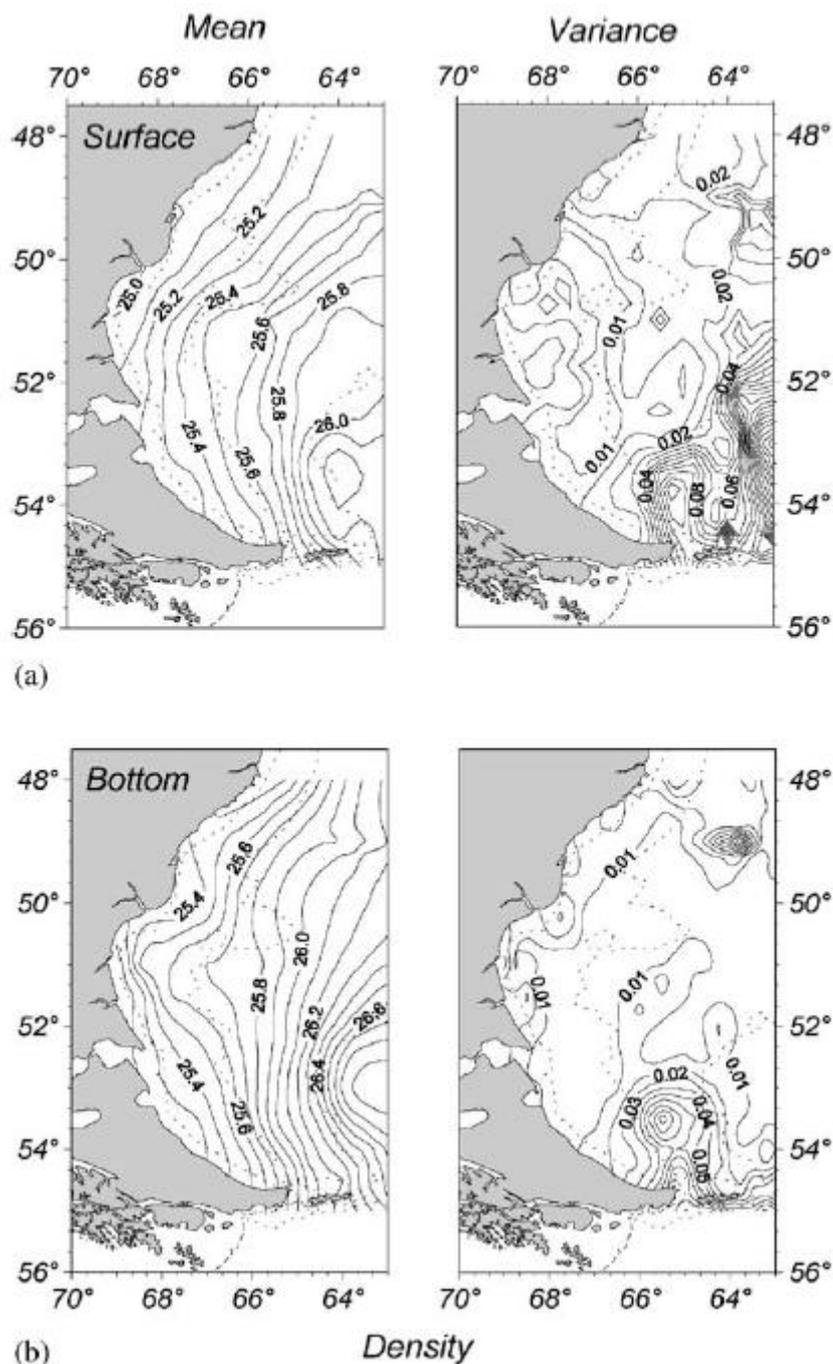


Figura 43. Densidades medias y varianzas sobre la plataforma patagónica correspondientes al final de los veranos de los años 1994 a 2000. (a) valores en superficie y (b) valores en el fondo. Mean: Promedio. Variance: Varianza. Surface: Superficie. Bottom: Fondo. Density: Densidad. Fuente: Sabatini et al. (2004).



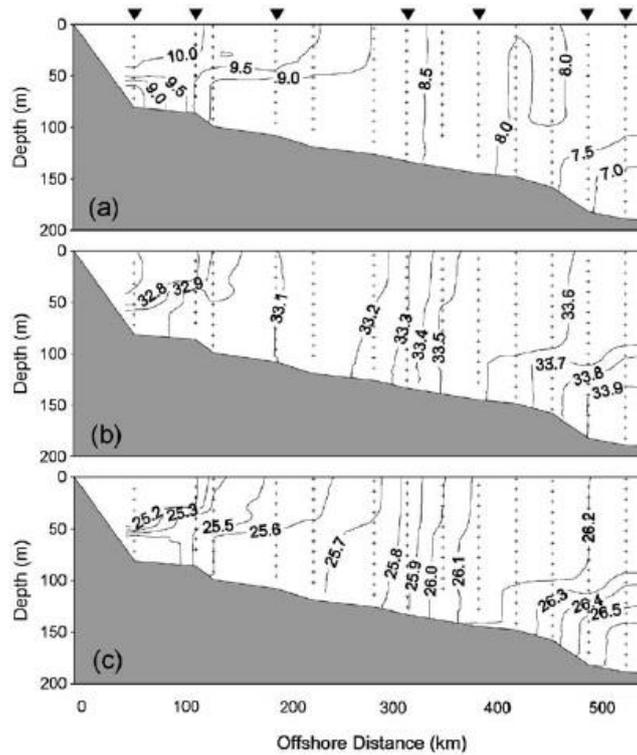


Figura 44. Perfiles verticales de temperatura (a), salinidad (b) y densidad (c) a lo largo de una sección ubicada frente a Bahía Grande (51°S), correspondientes a la campaña de marzo de 1994. Los triángulos sobre la imagen superior representan la posición de las estaciones CTD realizadas sobre la transecta. Depth: Profundidad. Offshore distance: Distancia en alta mar. Fuente: Sabatini et al. (2004).

El parámetro de estabilidad de Simpson, que representa la energía necesaria para mezclar completamente la columna de agua (Simpson, 1981), se presenta en la Figura 45 (valores medios y varianzas correspondientes a las mediciones realizadas hacia fines de los veranos de los años 1994-2000).

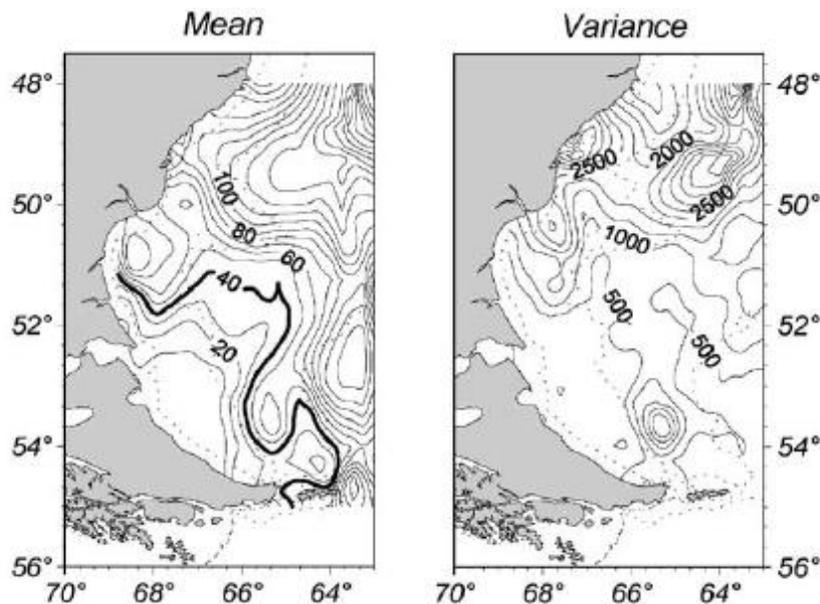


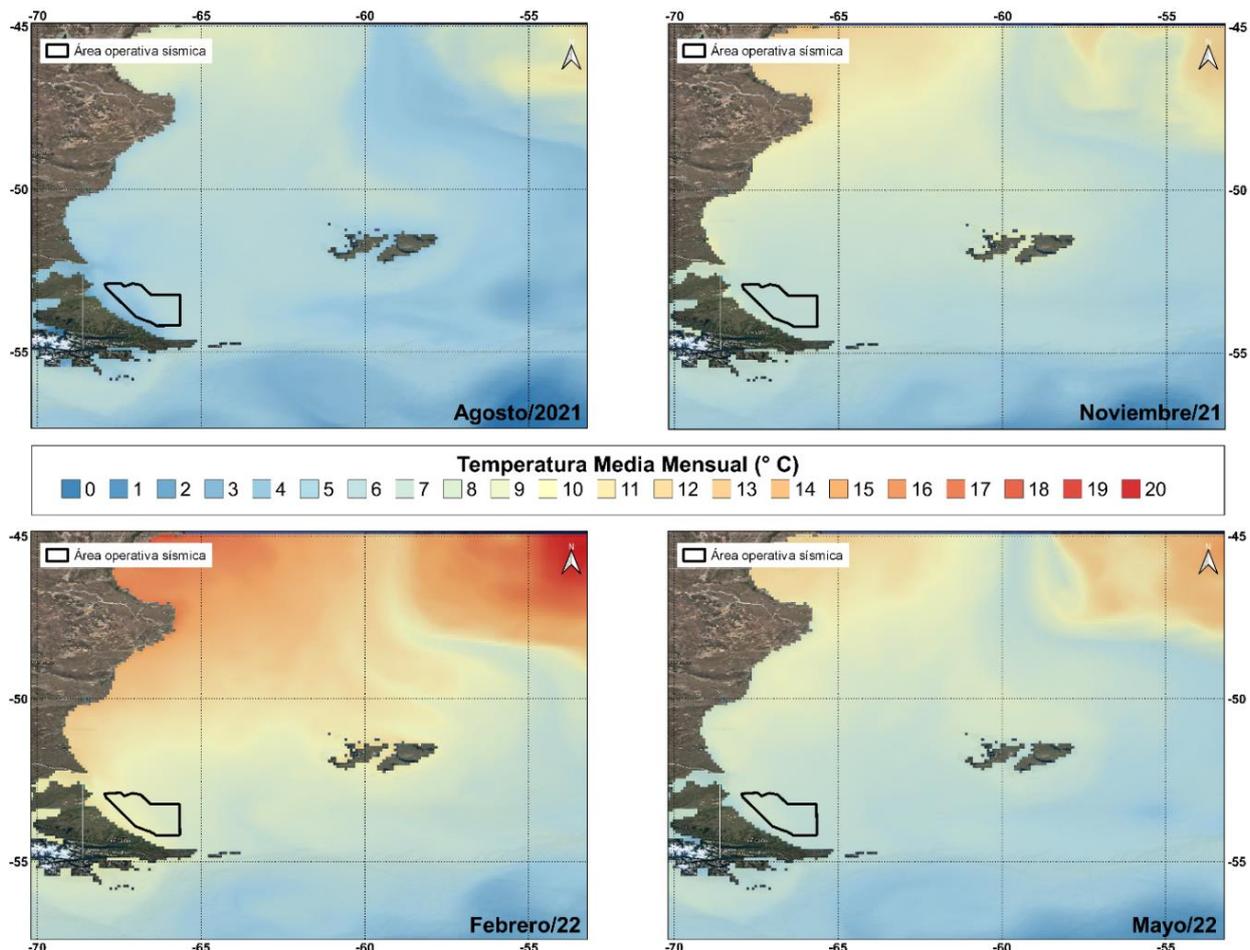
Figura 45. Distribución horizontal del parámetro de estabilidad de Simpson (estandarizado por profundidad): (a) valores medios y (b) varianzas correspondientes a las mediciones realizadas hacia fines de los veranos de los años 1994-2000. Mean: Promedio. Variance: Varianza. Fuente: Sabatini et al. (2004).



La distribución espacial del parámetro de estabilidad de Simpson indica la existencia de tres regímenes dinámicos separados por la isolinea de  $40 \text{ J/m}^3$ . La primera región se localiza al norte de aproximadamente  $51^\circ\text{S}$ , donde los valores relativamente altos del parámetro de Simpson corresponden al sistema de dos capas fuertemente estratificadas descrito anteriormente. La segunda región está confinada a la plataforma interior y media al sur de  $51^\circ\text{S}$  (profundidades menores a 100 m), donde los bajos valores de este parámetro corresponden a la estructura de densidad cuasi homogénea observada durante las campañas analizadas. La tercera región se extiende desde el estrecho de Le Maire hacia el noreste y corresponde a la entrada de aguas subantárticas asociadas con las corrientes del Cabo de Hornos y de Malvinas (Sabatini et al., 2004).

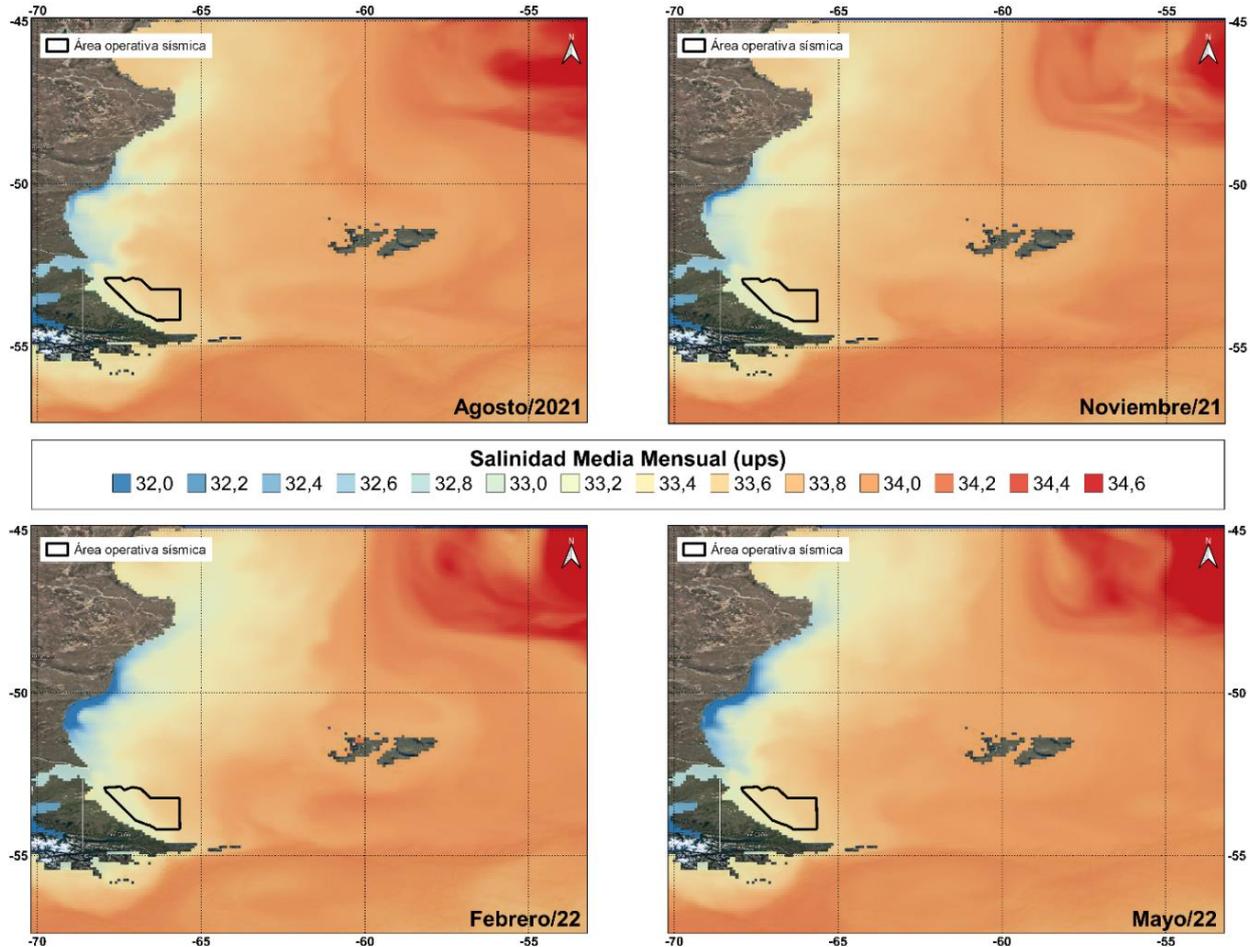
En las siguientes figuras se presenta la distribución horizontal de temperatura (Figura 46) y de salinidad (Figura 47) de la superficie del mar para los meses, seleccionados como representativos de las estaciones, febrero (verano), mayo (otoño), agosto (invierno) y noviembre (primavera). La información proviene de la base de datos de COPERNICUS, accediendo a ellos a través de <https://www.copernicus.eu/es/servicios/vigilancia-marina>.

Los campos de temperatura y de salinidad dan cuenta de la presencia de la pluma de Magallanes Plata (frías y de baja salinidad), y de las aguas subantárticas frías y más salinas.



**Figura 46. Distribución superficial de Temperatura potencial en superficie (°C), promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.**





**Figura 47. Distribución superficial de Salinidad (ups) en superficie, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.**

La variación estacional de las características de salinidad y temperatura, en la columna de agua, fue analizada en distintos perfiles del área operativa del proyecto en base a la información provista por dos fuentes. Una es el modelo GLOBAL\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHY\_001\_024 de Copernicus (<http://marine.copernicus.eu/servicesportfolio/access-to-products/>), el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea. La otra, la base de datos oceanográfica World Ocean Database -WOD- (<http://www.nodc.noaa.gov>) de la NOAA.

Dicho análisis, más el respectivo cálculo de la densidad y velocidad del sonido en la columna de agua, variables que constituyen un input para el modelo de la propagación y atenuación del ruido, se presentan en el Capítulo Modelación Acústica.



Ing. MARIANO MICULICICH  
Director  
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

### 2.5.2 Parámetros Químicos y Fitoplancton

Las aguas del océano Atlántico Sudoccidental adyacentes a la Isla Grande de Tierra del Fuego constituyen un sistema altamente productivo. La confluencia de los océanos Atlántico, Pacífico y Antártico genera una variedad de regímenes de productividad, ya que favorece en gran medida el afloramiento de nutrientes y la retención de plancton, manteniendo activos desde micro hasta macrozoopláncteres e influyendo en la distribución y evolución de una gran diversidad de especies y, por lo tanto, en la conformación de las comunidades de la región (Ricciardelli et al., 2014; Padovani et al., 2014).

La mezcla determinada por el régimen macromareal de la región fuerza, también, el enriquecimiento en nutrientes de las aguas (Padovani et al., 2014).

La región austral de la patagonia recibe aguas de origen subantártico que ingresan a la plataforma por dos vías: el estrecho de Le Marie (entre la Isla Grande Tierra del Fuego y la Isla de los Estados) y el sur de las Islas Malvinas. Por otro lado, existen pequeñas descargas continentales que aportan agua dulce y una fuente de agua de baja salinidad dada por el flujo que ingresa a través del estrecho de Magallanes.

De esta manera, en el sector de las aguas subantárticas adyacentes a Tierra del Fuego existen tres áreas principales de gran productividad:

- la zona costera y norte de Tierra del Fuego, donde el aporte de las aguas del estrecho de Magallanes y el drenaje de las aguas continentales de la isla generan un frente de baja salinidad y alta concentración de nutrientes;
- las aguas del Pasaje de Drake, zona donde confluyen las aguas de los océanos Pacífico, Atlántico y Antártico y en la que puede incluirse el sector más externo de la boca del canal de Beagle y las aguas adyacentes a Isla de los Estados; y
- el área del banco Burdwood y las Islas Malvinas, influenciada por la corriente de Malvinas (rica en nutrientes y con alta saturación de oxígeno), cuya presencia se hace sentir sobre la plataforma patagónica y el talud continental hasta latitudes cercanas a los 38°S donde conforma junto con la Corriente de Brasil la Convergencia Subtropical (Ricciardelli et al., 2014).

La caracterización de parámetros tales como el oxígeno disuelto y los nutrientes, así como del fitoplancton y la clorofila, se describe a continuación, para la región de interés del presente estudio.

La descripción se realiza en base a datos del producto GLOBAL\_ANALYSIS\_FORECAST\_BIO\_001\_028, de COPERNICUS al cual se accedió por medio de la plataforma My Ocean. Este producto se basa en el modelo global PISCES, que simula ciclos biogeoquímicos de oxígeno, carbono y los principales nutrientes que controlan el crecimiento del fitoplancton (nitrato, amonio, fosfato, ácido silícico y hierro). El modelo, validado con datos satelitales y observaciones in situ, brinda los campos biogeoquímicos de concentración de clorofila, nitrato, fosfato, silicato, oxígeno disuelto, hierro disuelto, producción primaria, fitoplancton, en una cuadrícula de 1/12 de grado (aprox. 8 km) y en 50 niveles estándar.

Para cada uno de los parámetros, se presenta la distribución superficial de 4 meses (agosto/21, noviembre/21, febrero /22 y mayo /22) seleccionados como representativos de la variación estacional en superficie.



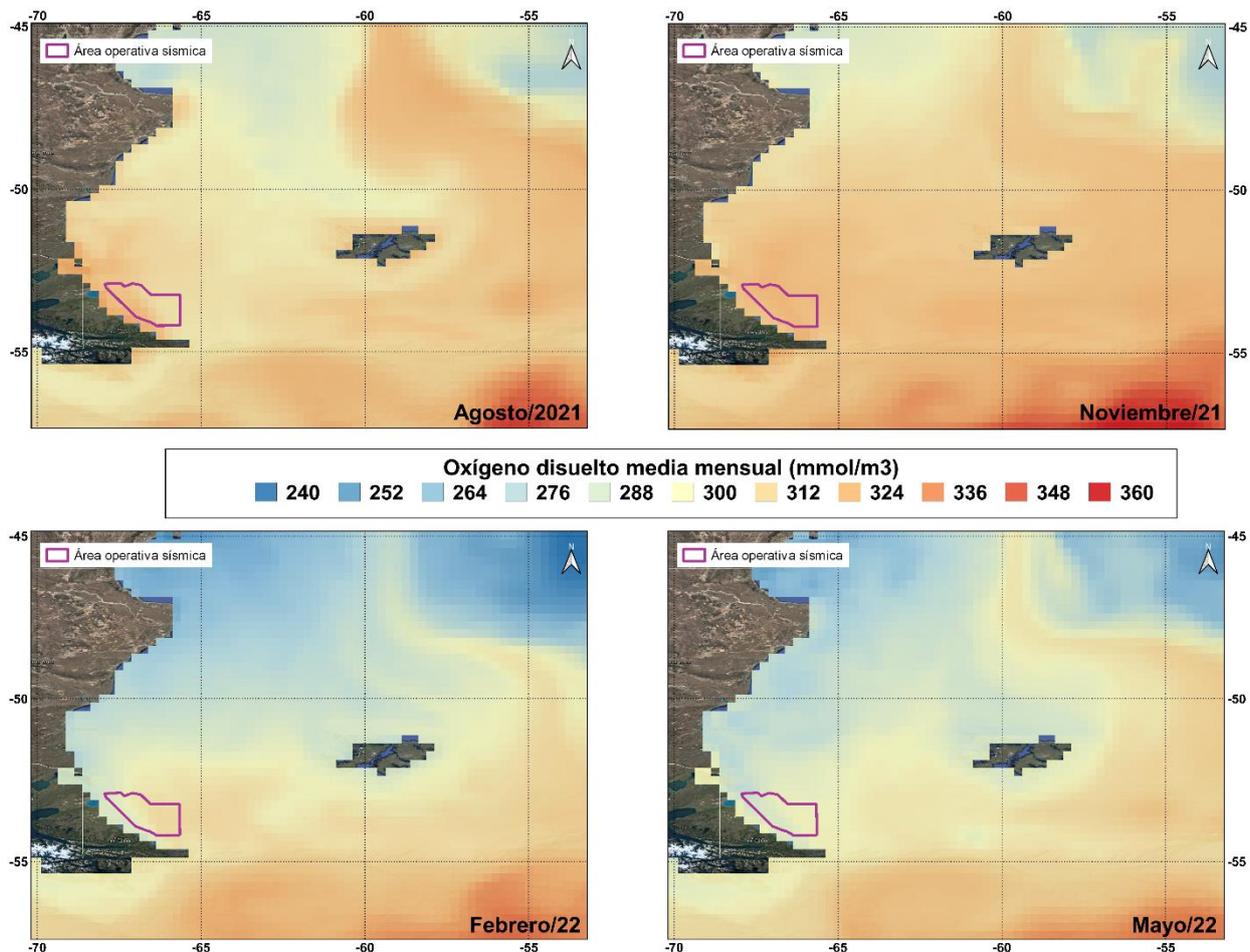
### 2.5.2.1 Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) en el mar proviene de la atmósfera y de la actividad fotosintética de las algas. Su concentración depende de la presión parcial del gas, la temperatura y la salinidad del agua.

La distribución del oxígeno disuelto está muy relacionada con la distribución de la temperatura y vinculada a importantes procesos de circulación y mezcla. Dadas las relaciones que existen entre el OD y las actividades biológicas que tienen lugar en el medio marino, es de vital importancia estudiar su distribución.

En la Figura 48 (distribución superficial del OD medio mensual) se observa que las zonas de alta concentración de OD se corresponden con las masas de agua subantárticas que ingresan al MCA desde el sur. Estas altas concentraciones son transportadas hacia el norte por la corriente de Malvinas (CM). El efecto de esta corriente está presente durante todo el año en el borde del talud continental y se observa también en la distribución superficial de la temperatura (Figura 46).

Fuera de la CM la concentración disminuye hacia el norte. Se observa, además, un ciclo anual en la concentración de OD, el crecimiento se inicia a mediados de invierno, y se extiende hasta primavera, en verano comienza el descenso.



**Figura 48. Distribución superficial de Oxígeno disuelto, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.**



### 2.5.2.2 Macro y Micronutrientes

Los macronutrientes (nitrato, nitrito, amonio, fosfato y silicato) y micronutrientes (elementos presentes en concentraciones muy bajas, como, por ejemplo: He) son elementos esenciales para el desarrollo de los organismos autótrofos, por cumplir un rol en la síntesis de aminoácidos y proteínas, membranas celulares y ácidos nucleicos, formación de estructuras, entre varios otros procesos. Se los denomina también compuestos biolimitantes, dado que su concentración en aguas superficiales puede agotarse o disminuir hasta valores tan bajos que limitan el desarrollo fitoplanctónico.

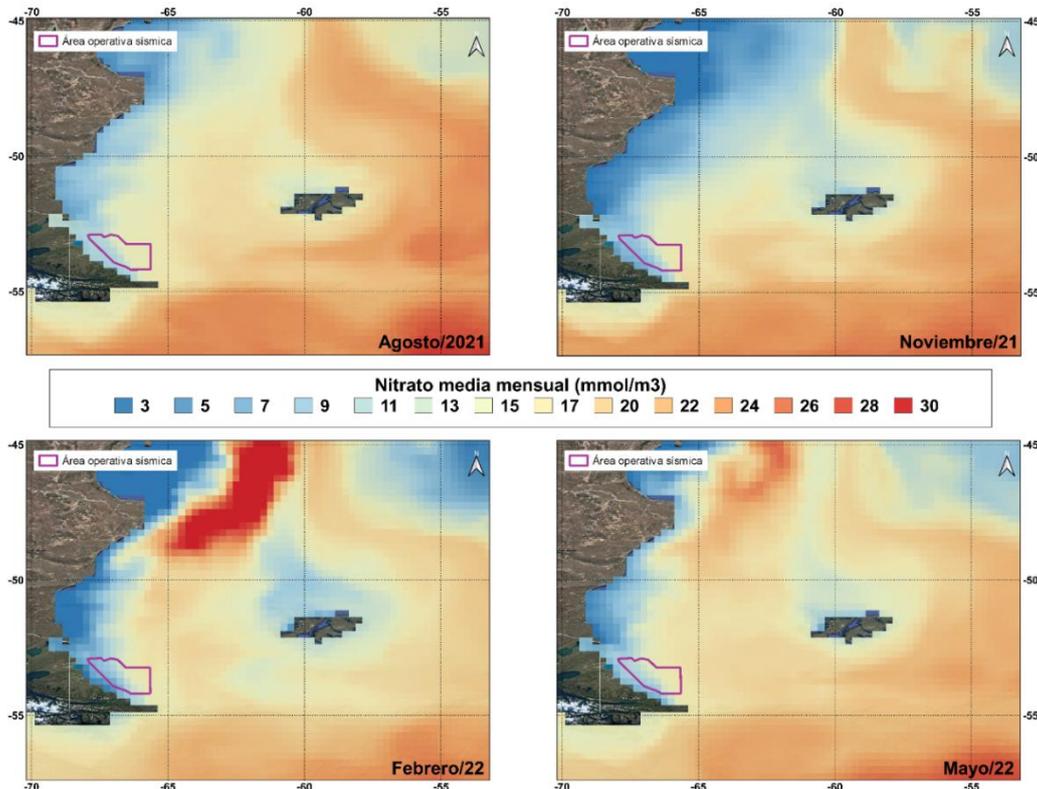
La concentración y disponibilidad de nutrientes para los organismos autótrofos en aguas superficiales depende de los procesos de afloramiento, mezcla vertical de la columna de agua, de la circulación oceánica, aportes fluviales, incorporación por organismos productores, regeneración por actividad bacteriana. Además, varía con el grado de estacionalidad del ambiente bajo estudio, la profundidad al fondo marino y los gradientes de productividad de cada ecosistema. Si el aporte de nutrientes en aguas superficiales no es constante, se produce un agotamiento rápido de estos compuestos.

Los nutrientes pueden ser repuestos de manera localizada en los márgenes continentales por diferentes procesos, tanto naturales (por ej. mezcla de la columna de agua) como antropogénicos.

En las zonas costeras, principalmente cerca de centros urbanos, existe un aporte adicional de nutrientes causado por vertidos continentales y/o descargas de ríos que, generalmente, conduce a un incremento en los niveles de nitrógeno, fósforo y silicato. Consecuentemente, se produce un incremento de la productividad biológica en general e inclusive de procesos de eutrofización, que pueden tener efectos negativos sobre las comunidades biológicas, tales como disminución de la biodiversidad, generación de mareas rojas y alteración de la estructura de las comunidades planctónicas y bentónicas.

Además, las concentraciones de nutrientes en las zonas costeras se pueden modificar drásticamente y repentinamente debido a fenómenos naturales tales como lluvias y vientos que arrastran sedimentos al mar.





**Figura 49. Distribución superficial de Nitrato, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.**

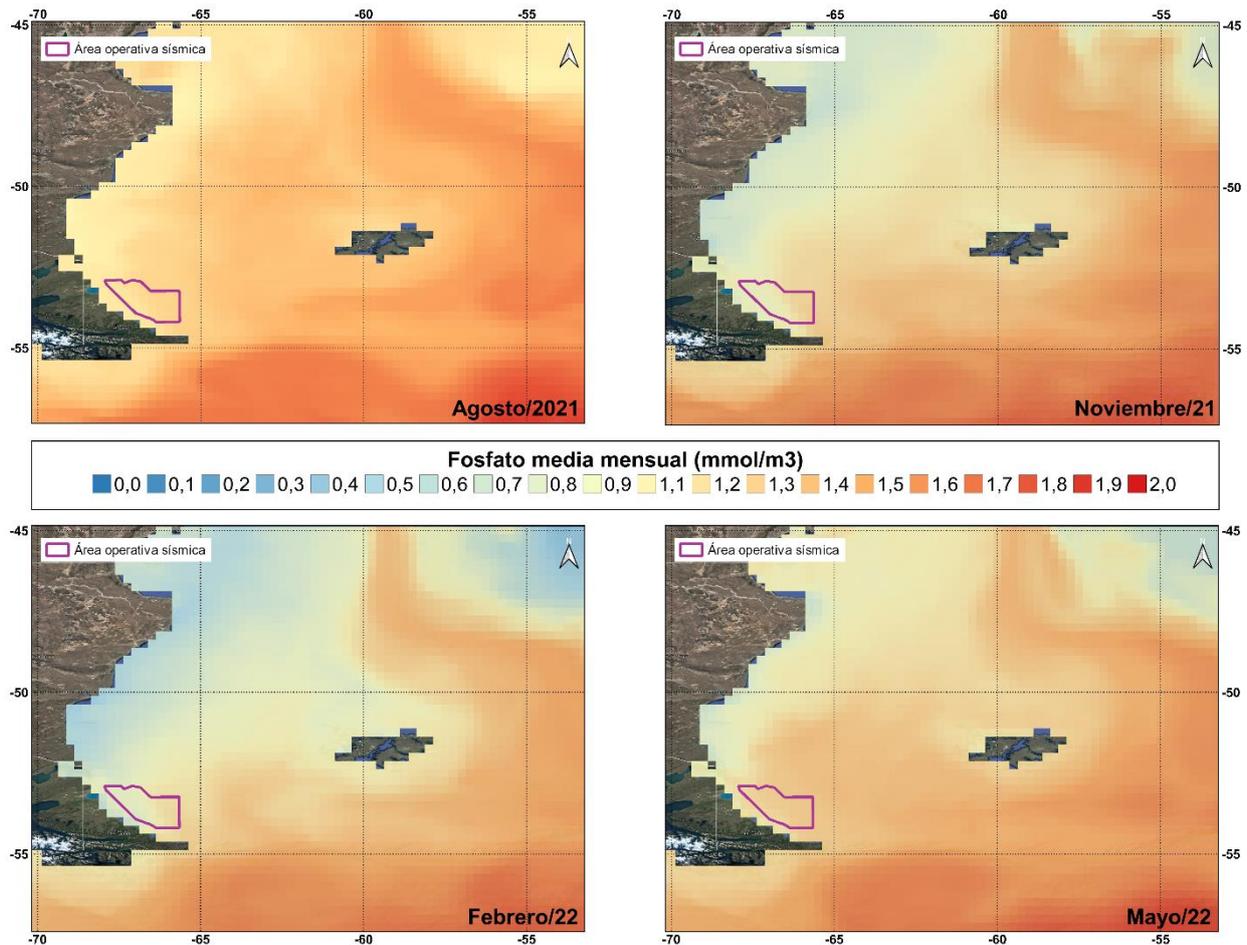
El principal reservorio de nutrientes marinos se encuentra en los fondos oceánicos polares (Levitus et al., 1993), luego la circulación de las corrientes superficiales o profundas contribuye en su distribución hacia los trópicos, del mismo modo que los fenómenos de surgencia transportan nutrientes desde el fondo marino hacia aguas superficiales.

La concentración de nutrientes durante los meses de verano y otoño está regulada por la presencia de sectores frontales y el consumo producido por el fitoplancton.

Como se observa en los patrones de distribución que se presentan en la Figura 49 (Nitrato), Figura 50 (Fosfato) y Figura 51 (Silicato), las aguas subantárticas se destacan como la principal fuente de nutrientes. Siendo la Corriente de Malvinas la encargada de transportar esos nutrientes hacia el norte. Se observa además una zona, en plataforma media, de elevada concentración de Nitrato para los meses febrero y mayo.

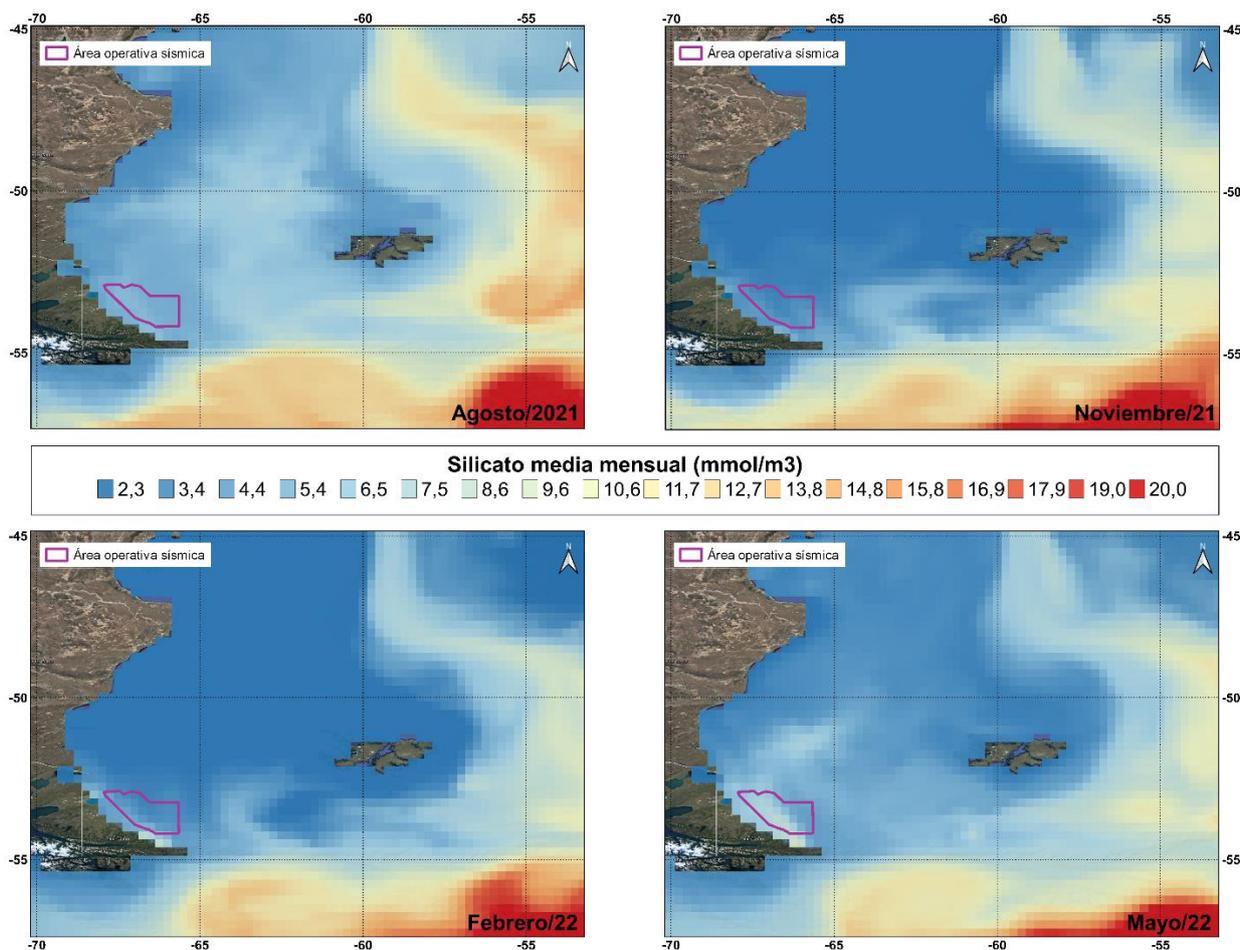


Ing. MARIANO MICULICH  
Director  
SERMAN & ASOCIADOS S.A.



**Figura 50. Distribución superficial de Fosfato, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.**





**Figura 51. Distribución superficial de Silicato, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.**

El hierro es un micronutriente que limita el desarrollo del fitoplancton y toda la productividad biológica de extensas regiones oceánicas. En dichas regiones aun cuando la capa superficial contenga muchos nutrientes, la productividad primaria es escasa porque carece de los micronutrientes que permiten completar el ciclo biogeoquímico.

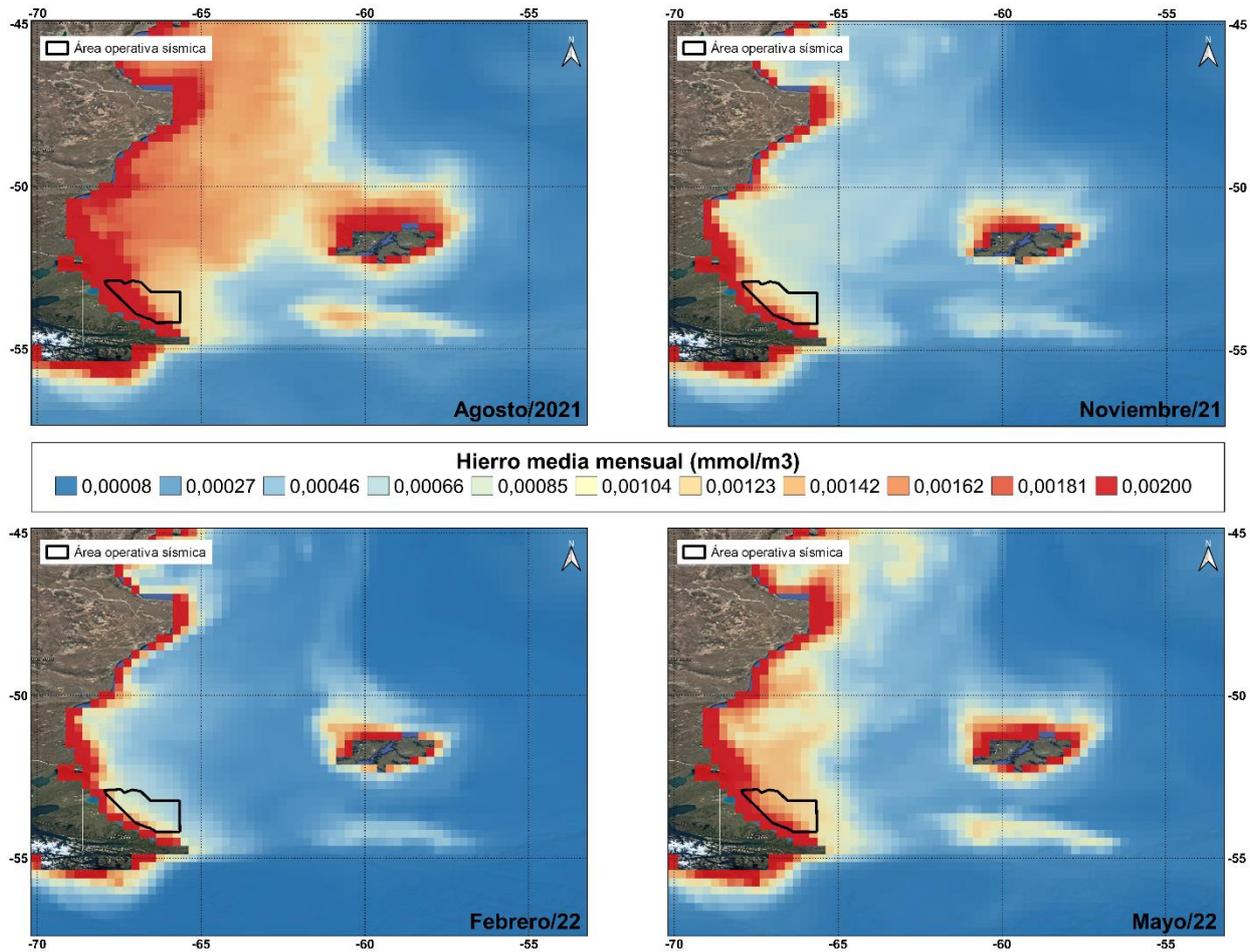
La distribución y abundancia del hierro disponible para los productores primarios dependen de procesos netamente biogeoquímicos. En los sectores costeros y de plataforma depende del aporte fluvial y en el océano del transporte eólico y corrientes.

En la plataforma argentina los procesos son favorables a la fertilización. La dirección de los vientos en la Patagonia es tal que favorece el ingreso de polvo (y fuentes de micronutrientes de hierro) que fertiliza al Atlántico Sur.

Anderson et al. (2014), basados en registros de sedimentos del Océano Atlántico Sur subantártico, sugieren que el polvo sudamericano, muy probablemente de la Patagonia, constituye una fuente importante de material litogénico en los sedimentos subantárticos del Atlántico Sur. Un mayor suministro de nutrientes, así como una mayor utilización de nutrientes (estimulada por el polvo) contribuyeron a la productividad subantártica durante los períodos fríos, en contraste con la región al sur del Frente Polar Antártico (APF), donde la reducción del suministro de nutrientes durante los períodos fríos fue el principal factor limitante de la productividad.



En la Figura 52 se puede observar el patrón de distribución superficial de hierro. Las mayores concentraciones se encuentran en las zonas costeras. En otoño e invierno esas concentraciones elevadas se extienden hacia la plataforma.



**Figura 52. Distribución superficial de Hierro, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.**

### 2.5.2.3 Clorofila-a y Actividad Fitoplanctónica

La región del talud del MCA es considerada una de las áreas de mayor productividad primaria del océano mundial. A diferencia de otras regiones de alta productividad caracterizadas por surgencia costera generada por el viento estacional, estudios recientes indican que en el caso de la plataforma y talud patagónico la surgencia estaría favorecida por la intrusión de nutrientes relacionados al flujo de la Corriente de Malvinas (Ascuaga et al., 2011).

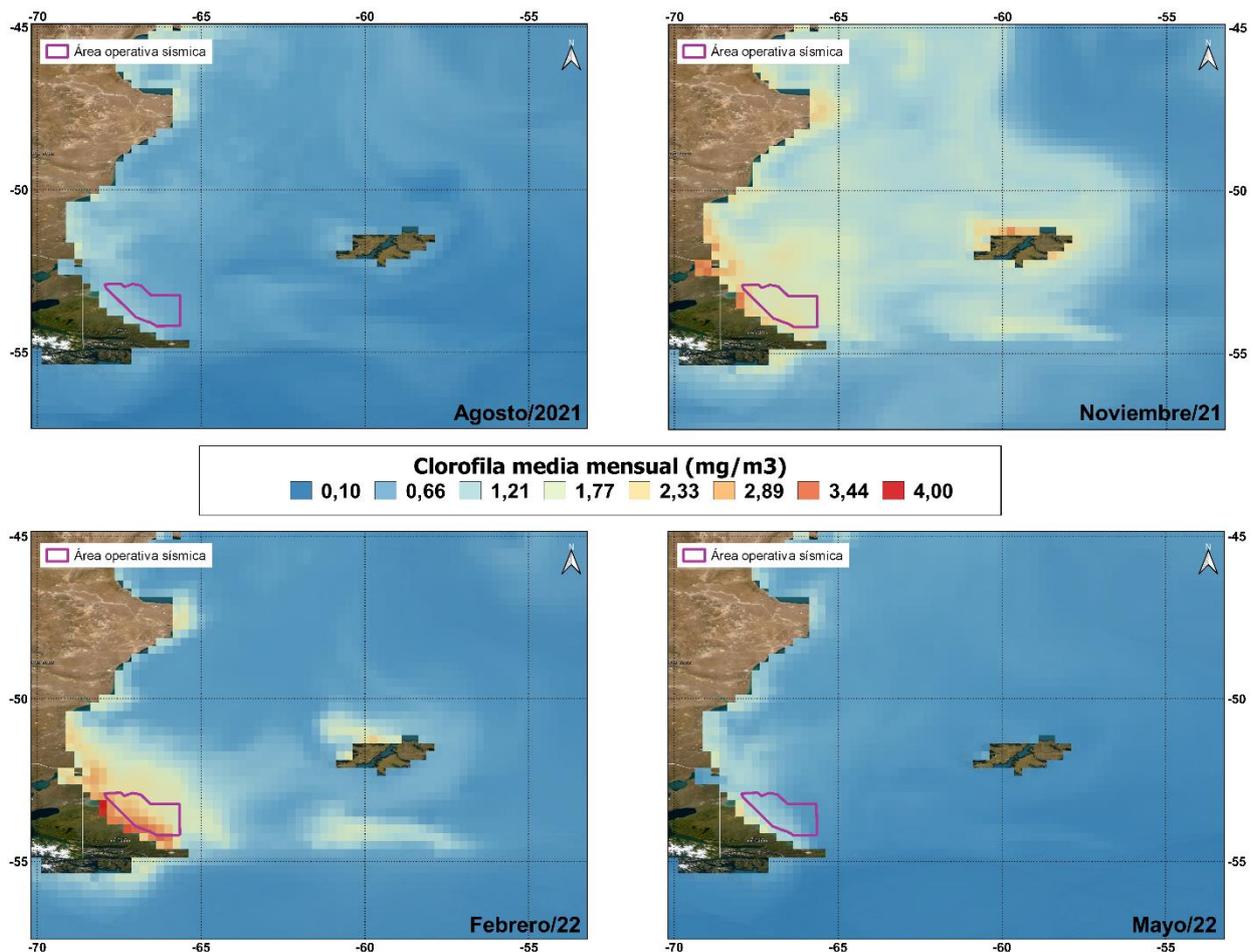
Con la llegada de la primavera, comienza un aumento significativo del período de luz diario y a la vez se encuentran disponibles los nutrientes acumulados durante el invierno (que no fueron usados por falta de luz). Ambas condiciones favorecen el crecimiento rápido del fitoplancton y se produce una explosión de algas unicelulares (floración).

Las floraciones de diatomeas están altamente correlacionadas con la disponibilidad de ácido silícico, por lo que se desarrollan bajo condiciones de alta disponibilidad de este nutriente.



La concentración de clorofila-a por unidad de volumen es una medida indirecta de la biomasa de fitoplancton es decir un indicador de abundancia relativa de células fitoplanctónicas. En Figura 53 se presentan las concentraciones de clorofila-a expresadas como miligramos de clorofila-a por unidad de volumen de agua de mar.

Como se puede observar en primavera y verano (representado por noviembre y febrero respectivamente) las máximas concentraciones de clorofila-a en superficie, se encuentran en zonas costeras. En la distribución de noviembre se puede observar el florecimiento primaveral, reflejado en las mayores concentraciones de clorofila-a en la zona costera (del continente y de Islas Malvinas), plataforma y talud. En invierno se observan las concentraciones más bajas.



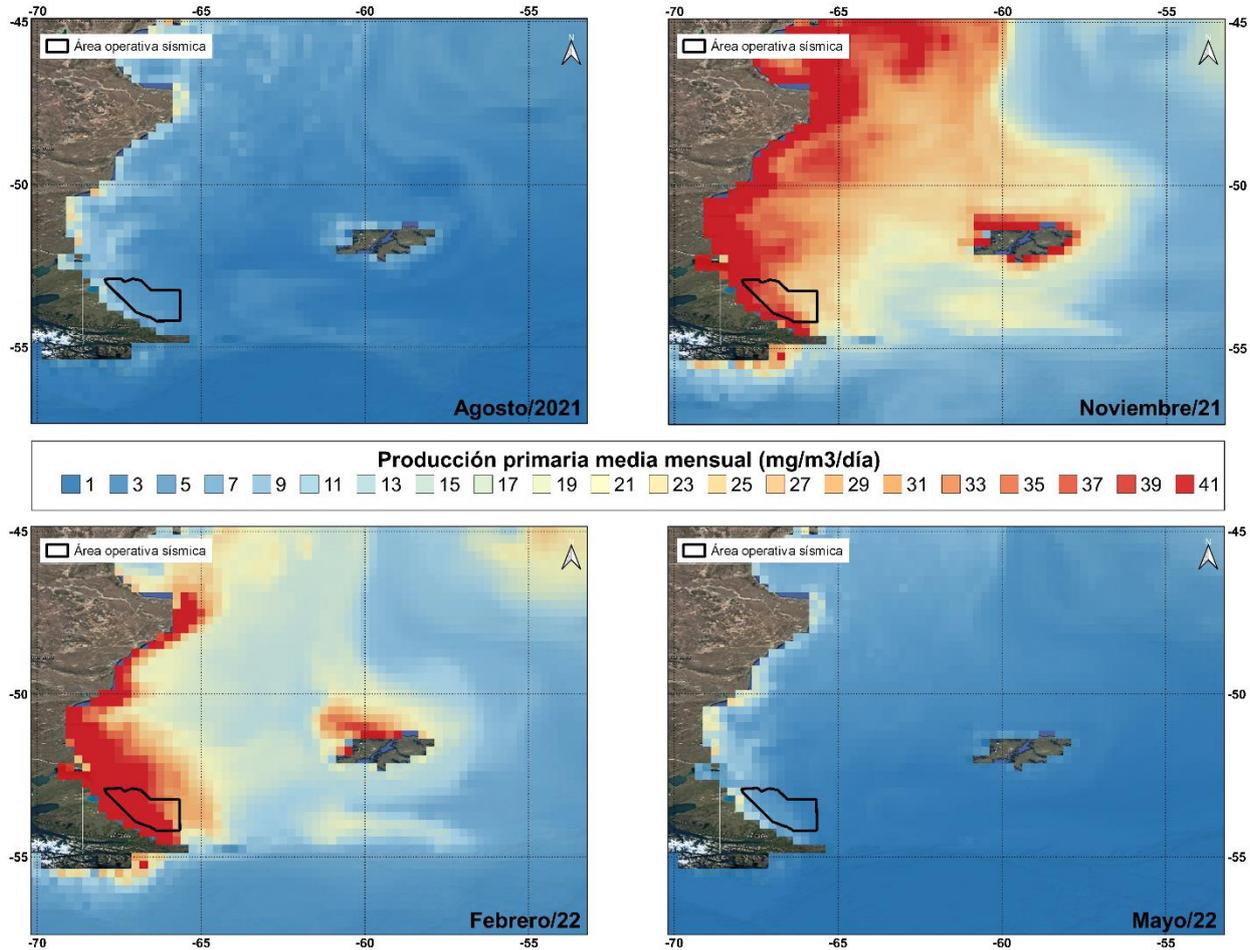
**Figura 53. Distribución superficial de Clorofila-a, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.**

En la Figura 54, se presenta la productividad primaria neta de biomasa (fitoplancton) expresada como miligramos de carbono producidos por día por unidad de volumen de agua de mar (mg/m<sup>3</sup>/día).



Ing. MARIANO MICULICICH  
Director  
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Se puede observar que en primavera y verano (representado por noviembre y febrero respectivamente) las máximas concentraciones en superficie se encuentran en zonas costeras (del continente e Islas Malvinas). En la distribución de noviembre se puede observar el florecimiento primaveral, reflejado en las elevadas concentraciones de la zona costera, plataforma y talud.



**Figura 54. Distribución superficial de Producción Primaria, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.**

El Desarrollo del fitoplancton depende de la luz y de la disponibilidad de nutrientes disueltos en el mar (nitratos, fosfatos, silicatos, He, etc.). Los frentes oceánicos presentan valores máximos de productividad durante las estaciones de primavera y verano.

En la Figura 55 se presenta la concentración de fitoplancton, expresada como moles de carbono por unidad de volumen de agua de mar ( $\text{mmol/m}^3$ ). Se puede observar que en todos los meses la máxima concentración está en zonas costeras (del continente e Islas Malvinas). En la distribución de noviembre se puede observar el florecimiento primaveral, reflejado en las elevadas concentraciones de la zona costera, plataforma y talud. En la distribución de febrero se observa una disminución del área de máximas concentraciones, reflejando las limitaciones de nutrientes.



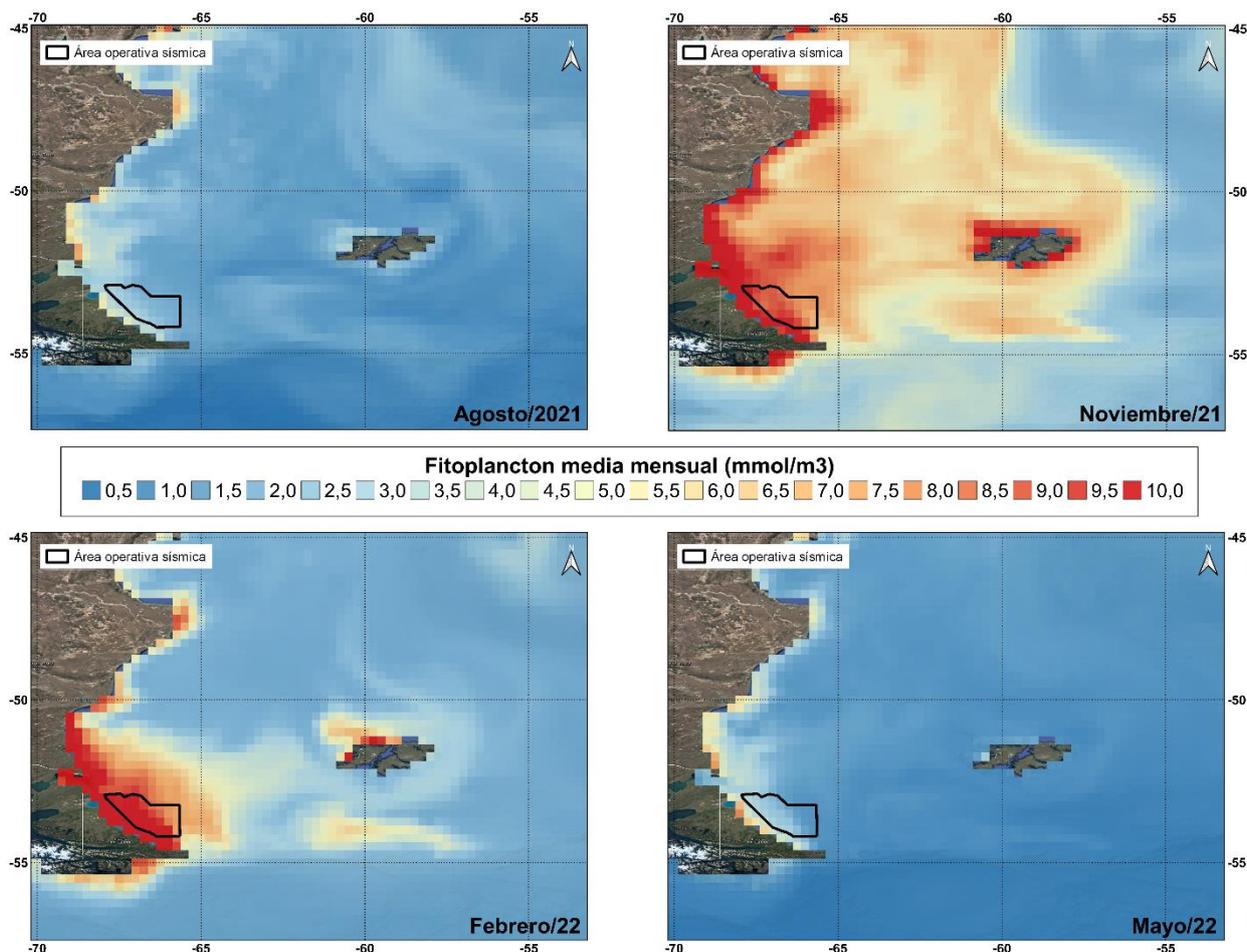


Figura 55. Distribución superficial de Fitoplancton, promedio mensual para los meses agosto/21, noviembre/21, febrero/22 y mayo/22. Fuente: Elaborado en base a datos del Programa Espacial COPERNICUS.



### 3 CLIMATOLOGÍA

En el área de estudio la circulación atmosférica local está controlada por los Vientos del Oeste (*Westerlies*), que vienen a cerrar hacia las altas latitudes el bucle iniciado por los vientos Alisios ecuatoriales. Esto es, los Alisios y los Vientos del Oeste rodean los anticiclones dinámicos que se presentan en los océanos en las latitudes subtropicales y tropicales (en este caso, el anticiclón del Atlántico Sur).

En el hemisferio austral, donde hay menos tierra en las latitudes intermedias para causar fricción y frenado, los Vientos del Oeste son particularmente fuertes. Estos vientos alcanzan su máxima intensidad entre los 40° y los 50° de latitud en ambos hemisferios, lo que ha dado origen a la denominación de "los 40 bramadores" en la terminología empleada por los marinos.

La intensidad de los Vientos del Oeste cumple un ciclo de debilitamiento en las estaciones cálidas (con un mínimo en verano) y de fortalecimiento en las estaciones frías (con un máximo en invierno), producto de la disminución del gradiente térmico entre el Polo y el Ecuador.

Sobre el mar, la temperatura del aire se ajusta rápidamente a la temperatura de la superficie del agua debido al intercambio calórico mar-atmósfera.

La plataforma continental argentina está dominada por aguas de origen subantártico diluidas por los aportes fluviales y el balance evaporación-precipitación, por lo que pueden diferenciarse regiones con masas de aguas de diferentes salinidades (Perillo y Kostadinoff, 2005; Piola et al., 2010). Las temperaturas medias del agua en verano e invierno se presentan en la Figura 56.

La Figura 56 muestra las temperaturas medias del aire en superficie para los meses de enero y julio respectivamente. Éstas exhiben rasgos similares a las del mar. Las isohietas son relativamente paralelas y el gradiente térmico horizontal es mayor en verano que en invierno (Hoffmann et al., 1997).



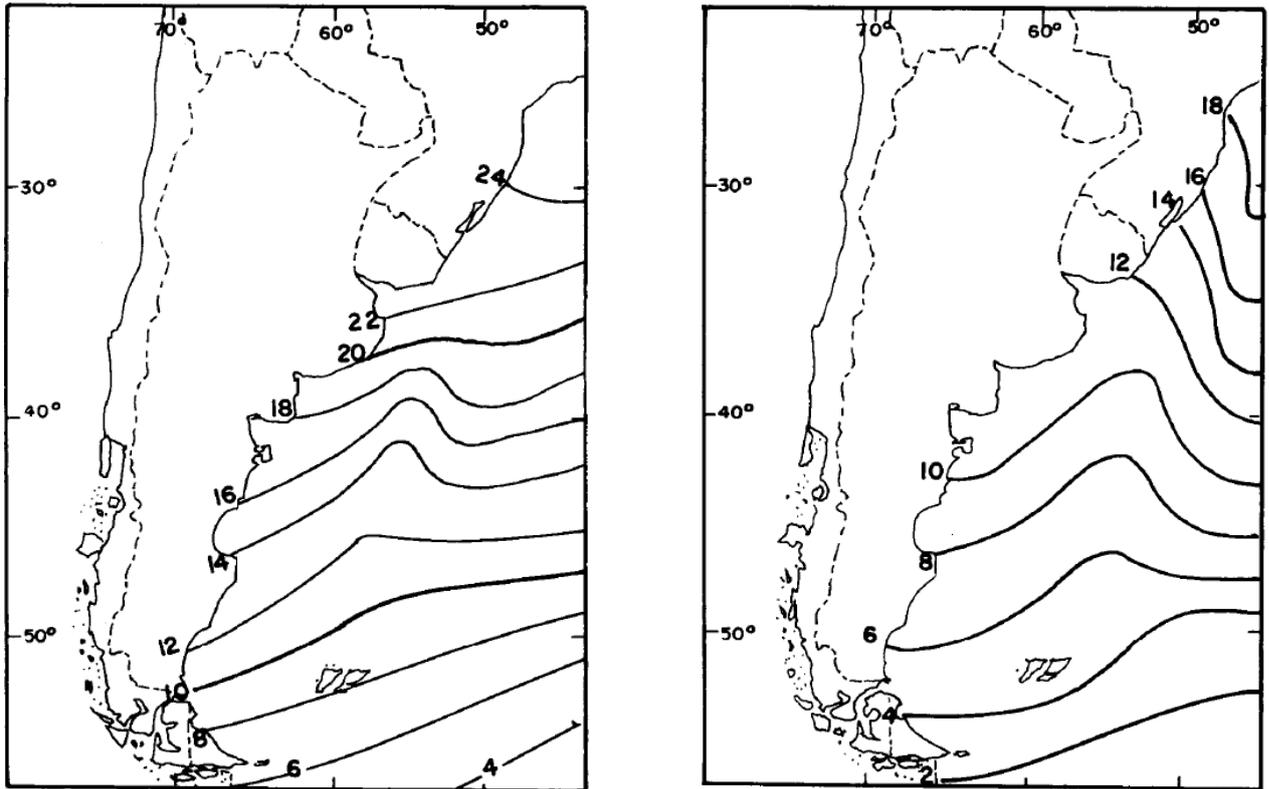


Figura 56. Temperatura de la superficie del mar (°C) correspondiente a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997.

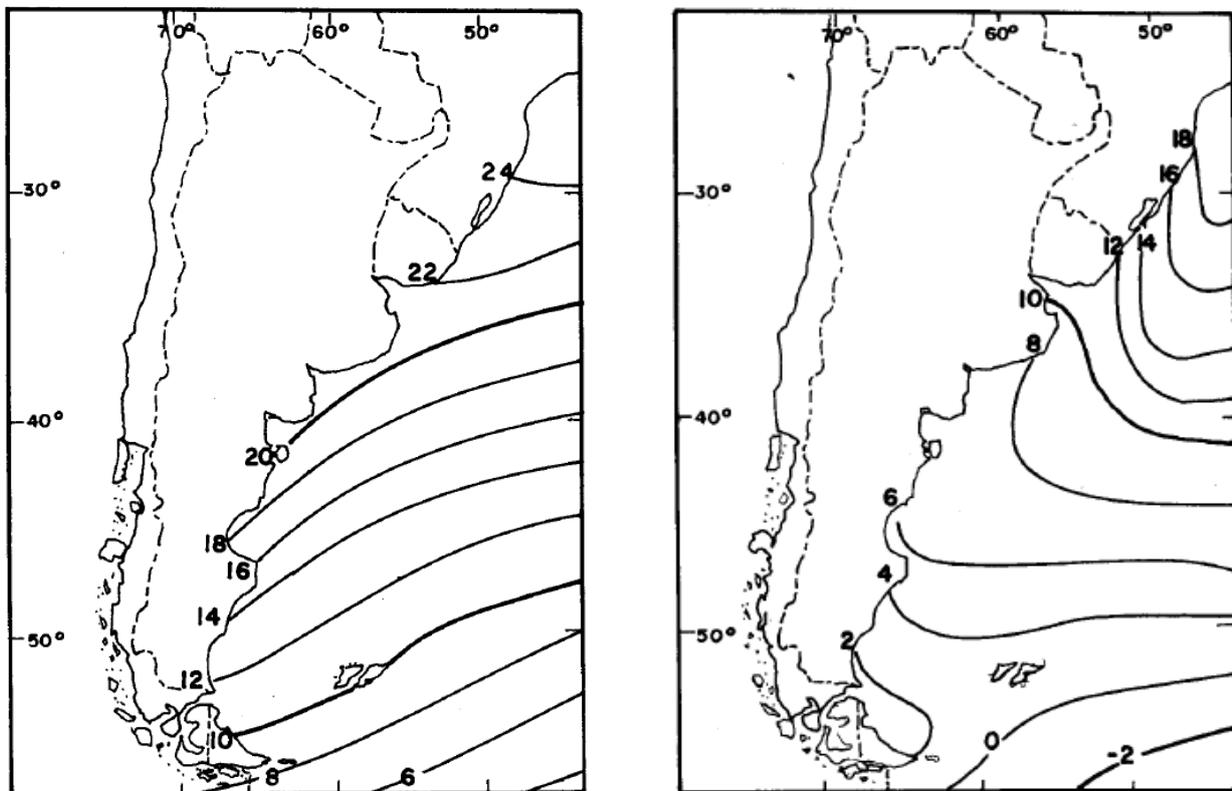


Figura 57. Temperatura del aire en superficie (°C) correspondiente a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997.



La diferencia de temperaturas entre el mar y el aire ( $T_{\text{mar}} - T_{\text{aire}}$ ) es un indicador importante de la estabilidad del aire en zonas marinas. Valores positivos indican una estratificación inestable que estimula la turbulencia atmosférica y el flujo de calor desde el mar a la atmósfera, pues el aire se calienta y absorbe vapor de agua. Este calor y humedad se propagan rápidamente hacia capas más altas de la atmósfera produciéndose la formación de nubes, precipitación, etc. Valores negativos muestran una estratificación estable e indican que la atmósfera está siendo enfriada. Pero este enfriamiento no se propaga con la misma rapidez ni alcanza capas muy altas de la atmósfera, produciéndose en algunos casos formación de nieblas o nubosidad del tipo *stratus*. Esta diferencia de temperatura, aunque pequeña, es responsable de la generación de procesos atmosféricos que afectan en parte el desarrollo de los sistemas de tiempo sobre el mar. Uno de los ejemplos más característicos es la formación de nieblas marinas. Sobre el mar epicontinental argentino la atmósfera transfiere calor al mar durante la estación estival. En invierno, en cambio, se invierte el flujo de calor y el mar le transfiere calor a la atmósfera (Hoffmann et al., 1997).

Las escasas precipitaciones anuales en la Patagonia, inferiores a 250 mm, caracterizan también el sector occidental del Mar Argentino hasta una distancia de 150 km a 200 km de la costa; a partir de allí las precipitaciones aumentan hacia el este hasta unos 700 mm por año sobre la corriente de Malvinas y decrecen en las mismas Islas Malvinas (600 mm a 650 mm). En el mismo sentido aumenta también la frecuencia de la precipitación (Hoffmann et al., 1997).

La humedad del aire puede obtenerse de diferentes maneras. Una de ellas es la presión de vapor que se define como la presión de saturación del vapor de agua a una temperatura dada. Esta variable nos indica el grado de saturación de la atmósfera. Debido a que siempre existe evaporación sobre los mares, la saturación sólo puede ser reducida por intercambio vertical con aire relativamente más seco. Entonces, la humedad relativa en el mar representa un balance entre evaporación y el intercambio vertical de vapor de agua (Hoffmann et al., 1997).

La nubosidad se refiere al porcentaje de cielo cubierto por nubes considerando todos los tipos de nubes presentes. En enero, la nubosidad alcanza su valor mínimo, del orden del 40% de cielo cubierto en el sector marítimo comprendido entre Mar del Plata y la Península de Valdés; hacia el sur aumenta a 50% a los 30°S y a 80% a los 55°S. En julio, la nubosidad media varía entre 55% a los 30°S, 60% a la altura de San Clemente del Tuyú y 70% en latitudes de Tierra del Fuego e Islas Malvinas (Hoffmann et al., 1997).

La presión atmosférica puede ser considerada como el peso del aire por unidad de área sobre la altura, y en un nivel determinado varía con el lugar y con el tiempo. Las variaciones horizontales de la presión son muchos menores que las verticales; sin embargo, pequeñas variaciones horizontales de presión son de una importancia fundamental para la dirección y velocidad del viento.

En los mapas de la Figura 58 se muestran los valores medios de presión para los meses de enero y julio y se observa que tanto en verano como en invierno el anticiclón subtropical domina la región hacia las latitudes bajas. En verano, el centro del anticiclón se ubica aproximadamente a 30°S y su valor supera los 1020 hPa, mientras que en invierno se desplaza hacia el norte, aproximadamente a 25°S, con un valor superior a 1024 hPa. En ambos meses, la posición del centro se encuentra alejada de la costa sudamericana, alcanzando aproximadamente el meridiano de 10°O en invierno (posición más cercana) y el de 5°O en verano (Hoffmann et al., 1997).



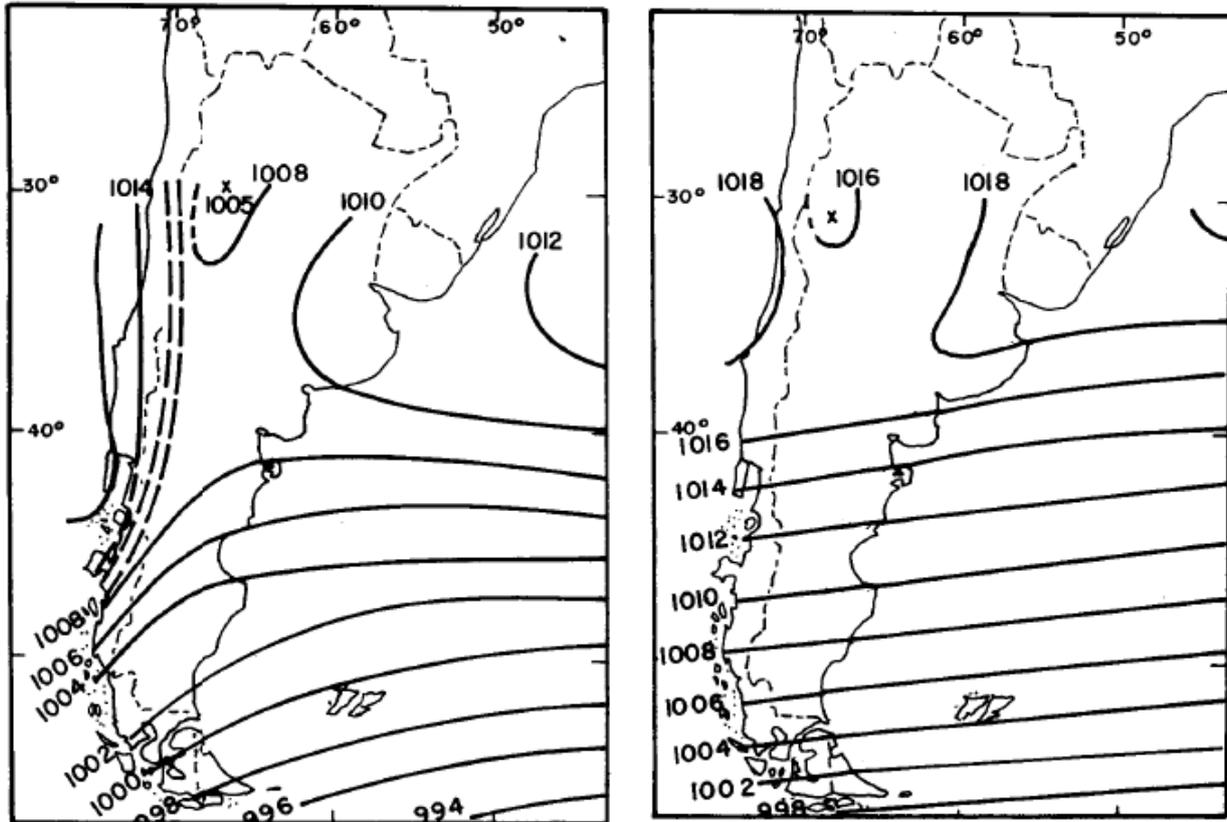


Figura 58. Presión de superficie (hPa) correspondientes a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997.

Para el viento en superficie, Hoffmann et al., 1997 encontró que las isotajas presentan direcciones aproximadamente paralelas a la costa, de modo que sobre el Mar Argentino la velocidad del viento aumenta tanto hacia el este como hacia el sur, alcanzando valores muy altos en latitudes del sur de la Patagonia y Tierra del Fuego, así como en el área de las islas Malvinas, del orden de 8 m/s en enero y 10 m/s en julio.

El curso casi equidistante y paralelo de la isotajas (Figura 59) se manifiesta también en el caso de isolíneas de frecuencia del viento fuerte y de vendaval (Figura 60). Se define vendaval cuando el viento supera un valor de 8 de la escala Beaufort. El aumento hacia el este de las precipitaciones, la presión atmosférica y la velocidad del viento se debe al incremento de los procesos ciclogénéticos en la misma dirección; sus mayores valores en julio corresponden a la mayor intensidad de la circulación de los vientos del oeste y a la mayor frecuencia de sus perturbaciones en esta estación del año (Hoffmann et al., 1997).



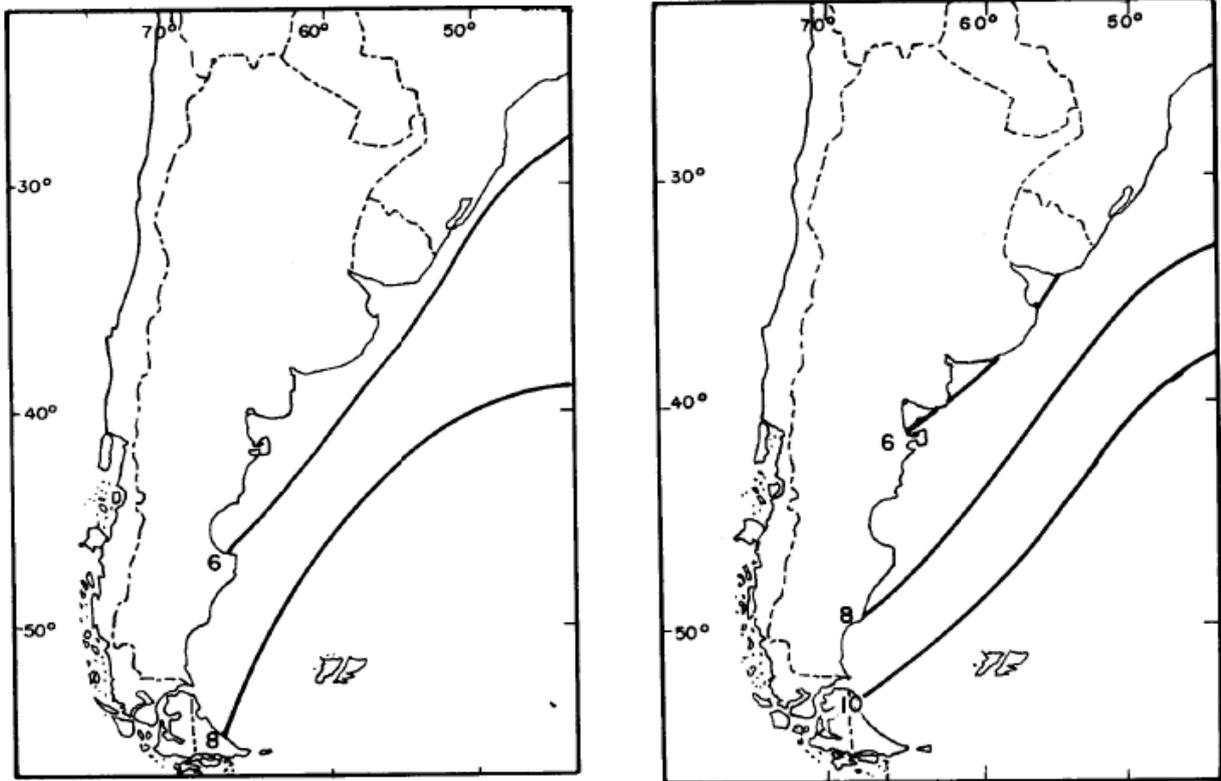


Figura 59. Velocidad media del viento (m/s) correspondiente a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997.

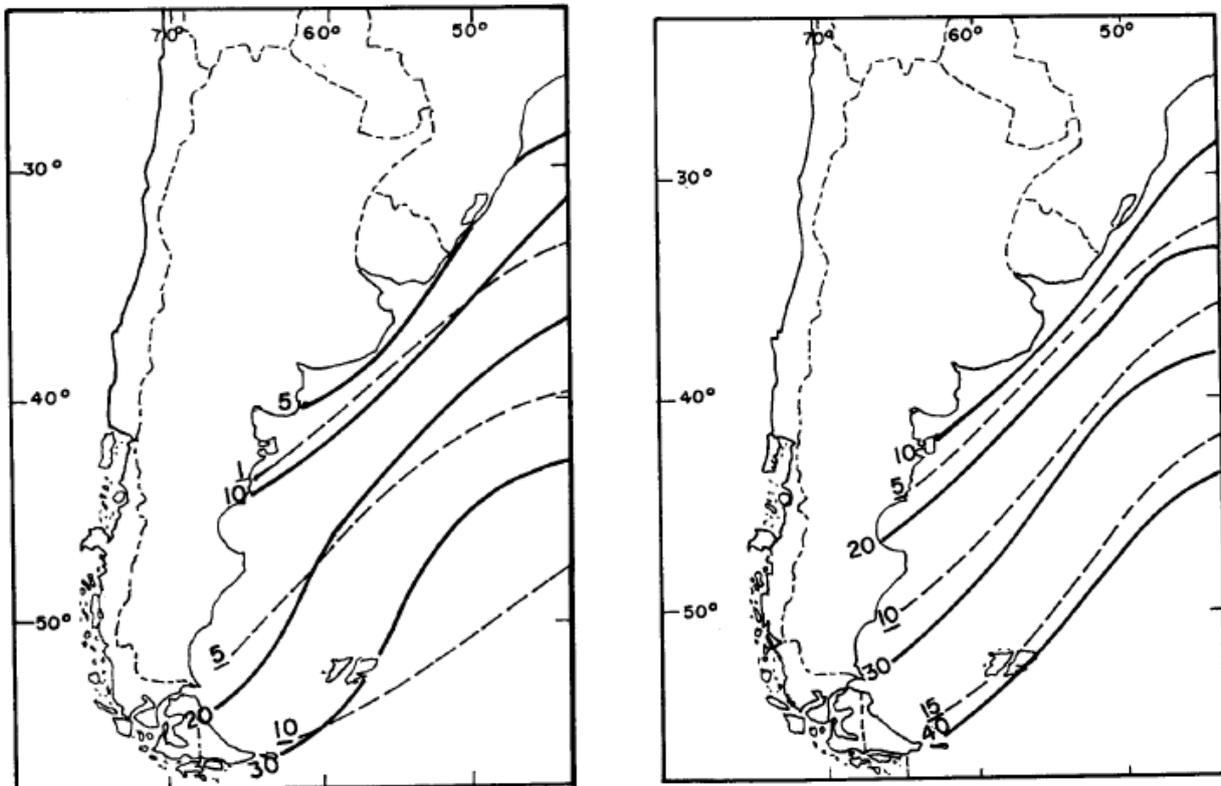


Figura 60. Frecuencia del viento fuerte (>6 en escala Beaufort, línea llena) y vendaval (>8 Beaufort, línea punteada) correspondiente a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha). Fuente: Hoffmann et al., 1997.



La climatología general de la zona de interés del proyecto puede describirse a través de las estadísticas generadas por el Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina (SMN) para la estación Río Grande Aero ubicada en Tierra del Fuego (53,48°S; 67,45°O). Los valores de los diferentes parámetros correspondientes a la última estadística decenal disponible (años 2001-2010) se presenta en la Tabla 9, la Tabla 10, la Tabla 11, la Tabla 12 y la Tabla 13.

**Tabla 9. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Valores medios.**

VALORES MEDIOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>INTENSIDAD DE VIENTO (km/h)</b>	29,1	27,2	25,3	23,4	19,8	17,4	18,0	20,6	21,9	26,6	28,1	29,6	23,9
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR MEDIO	32,0	30,9	28,8	26,8	23,3	22,1	27,7	26,5	26,3	31,6	34,6	34,4	25,5
Año de ocurrencia	2009	2003	2001	2001	2009	2009	2003	2007	2004	2009	2001	2010	2007
MINIMO VALOR MEDIO	22,9	24,3	21,7	19,1	14,2	13,8	14,6	14,9	16,3	20,2	22,2	21,9	21,8
Año de ocurrencia	2006	2010	2004	2004	2002	2008	2001	2002	2008	2004	2005	2003	2002
<b>PRESION A NIVEL DE LA ESTACION (hPa)</b>	995,9	998,8	998,4	997,1	1000,8	998,6	1002,1	1001,8	1003,9	997,5	996,4	996,1	999,0
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR MEDIO	999,6	1007,2	1003,0	1005,2	1010,8	1002,7	1005,9	1006,9	1010,2	1004,5	1005,0	1002,2	1000,5
Año de ocurrencia	2008	2004	2008	2003	2004	2002	2001	2002	2008	2001	2004	2005	2005
MINIMO VALOR MEDIO	990,3	991,0	992,8	994,1	992,5	993,4	996,0	996,7	994,6	991,7	991,6	989,9	996,3
Año de ocurrencia	2010	2001	2006	2008	2005	2004	2003	2009	2004	2009	2009	2010	2009
<b>PRESION A NIVEL DEL MAR (hPa)</b>	998,5	1001,3	1000,9	999,7	1003,4	1001,2	1004,8	1004,4	1006,5	1000,1	999,0	998,7	1001,5
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR MEDIO	1002,2	1009,9	1005,6	1007,9	1013,5	1005,4	1008,3	1009,2	1012,9	1007,0	1007,6	1004,9	1003,2
Año de ocurrencia	2007	2004	2008	2003	2004	2006	2005	2002	2008	2005	2004	2005	2005
MINIMO VALOR MEDIO	992,9	993,3	995,4	996,6	995,2	996,1	998,7	999,4	997,3	994,4	994,3	992,5	999,0
Año de ocurrencia	2010	2001	2006	2002	2005	2004	2003	2009	2004	2009	2009	2010	2009
<b>PRECIPITACION (mm)</b>	51,0	35,7	32,7	36,9	29,6	34,4	28,3	27,2	23,0	26,0	34,3	40,3	399,4
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	108,9	57,6	86,1	63,5	55,7	91,0	53,6	91,1	59,3	74,4	132,0	81,4	537,9
Año de ocurrencia	2006	2001	2003	2007	2001	2006	2008	2009	2007	2002	2005	2003	2006
MINIMO VALOR	14,7	8,1	10,8	10,6	10,0	1,0	5,4	9,6	7,3	6,7	6,4	18,3	306,7
Año de ocurrencia	2009	2003	2001	2001	2002	2002	2004	2004	2008	2001	2009	2001	2004
<b>NUBOSIDAD TOTAL (Octavos)</b>	5,5	5,1	4,9	4,7	4,3	4,3	4,2	4,5	4,9	4,9	5,3	5,5	4,8
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR MEDIO	5,8	5,6	5,5	5,1	4,8	5,5	4,8	5,5	5,6	5,3	5,8	6,0	4,9
Año de ocurrencia	2006	2010	2008	2002	2003	2004	2008	2009	2007	2002	2001	2005	2002
MINIMO VALOR MEDIO	5,2	4,5	4,4	4,2	3,1	3,7	3,6	3,8	3,8	4,5	4,7	5,1	4,7
Año de ocurrencia	2005	2005	2001	2004	2002	2002	2001	2001	2004	2009	2008	2008	2001
<b>TEMPERATURA (°C)</b>	10,9	10,6	8,2	5,5	2,6	0,3	0,3	1,7	3,8	6,0	7,9	10,1	5,7
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR MEDIO	12,0	12,9	9,6	6,2	4,8	3,1	2,7	2,6	4,9	6,9	8,8	11,2	6,5
Año de ocurrencia	2004	2004	2008	2003	2003	2004	2003	2004	2005	2008	2006	2008	2004
MINIMO VALOR MEDIO	9,9	9,1	6,1	4,5	-0,9	-2,6	-3,1	0,7	3,4	4,9	5,7	9,1	4,9
Año de ocurrencia	2003	2010	2002	2008	2002	2002	2001	2008	2001	2002	2009	2010	2002
<b>TEMPERATURA MAXIMA (°C)</b>	15,9	15,8	13,5	10,2	6,7	3,3	3,4	5,4	8,5	11,1	12,7	15,2	10,1
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	9
MAXIMO VALOR MEDIO	16,9	18,2	14,8	11,4	8,4	5,7	5,3	6,6	9,6	12,4	13,8	16,6	11,1
Año de ocurrencia	2004	2004	2008	2003	2006	2004	2003	2006	2005	2008	2006	2008	2004
MINIMO VALOR MEDIO	14,3	13,7	11,6	9,2	3,9	1,0	0,4	4,0	7,6	9,2	10,5	14,3	9,3
Año de ocurrencia	2003	2010	2002	2008	2002	2002	2001	2008	2002	2002	2009	2003	2002
<b>TEMPERATURA MINIMA (°C)</b>	5,7	5,6	3,7	1,6	-0,9	-2,8	-2,8	-1,3	0,2	1,4	2,8	4,7	1,5
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR MEDIO	7,2	8,3	5,8	2,5	1,6	0,3	-0,1	-0,7	1,1	2,6	4,1	5,7	2,1
Año de ocurrencia	2004	2004	2008	2009	2003	2004	2003	2006	2007	2010	2010	2008	2004
MINIMO VALOR MEDIO	4,6	4,5	1,3	0,8	-4,6	-6,6	-6,7	-2,2	-1,2	0,4	0,9	3,7	0,6
Año de ocurrencia	2005	2010	2002	2008	2002	2002	2001	2008	2004	2004	2009	2010	2002
<b>TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO (°C)</b>	8,7	8,5	6,6	4,3	1,8	-0,3	-0,5	0,8	2,6	4,1	5,6	7,7	4,1
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR MEDIO	9,5	10,9	7,8	5,2	3,8	2,4	1,8	1,6	3,3	5,2	6,5	8,6	5,0
Año de ocurrencia	2004	2004	2008	2003	2003	2004	2003	2004	2007	2006	2004	2002	2004
MINIMO VALOR MEDIO	8,2	7,1	4,7	3,0	-1,6	-3,4	-3,8	-0,1	2,0	2,8	3,3	5,7	3,6
Año de ocurrencia	2003	2010	2002	2008	2002	2002	2001	2008	2010	2009	2009	2010	2002
<b>TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCIO (°C)</b>	6,7	6,7	4,9	2,8	0,5	-1,5	-1,8	-0,6	0,8	1,7	2,9	5,2	2,4
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR MEDIO	7,7	9,4	6,2	3,9	2,5	1,4	0,7	0,2	2,1	3,4	4,3	6,5	3,3
Año de ocurrencia	2010	2004	2004	2003	2003	2004	2003	2003	2007	2006	2004	2002	2004
MINIMO VALOR MEDIO	5,7	5,0	3,0	1,1	-2,9	-5,5	-6,0	-1,4	-0,3	-0,6	0,0	1,8	1,6
Año de ocurrencia	2008	2010	2002	2008	2002	2002	2001	2008	2010	2009	2009	2010	2010



**Tabla 10. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Valores medios (continuación).**

VALORES MEDIOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>TENSION DE VAPOR (hPa)</b>	10,0	10,0	8,9	7,7	6,6	5,7	5,6	6,0	6,6	7,0	7,7	9,0	7,6
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>MAXIMO VALOR MEDIO</b>	10,7	12,1	9,7	8,3	7,5	6,9	6,5	6,3	7,2	7,9	8,4	9,8	8,1
Año de ocurrencia	2010	2004	2004	2003	2003	2004	2003	2004	2007	2006	2004	2002	2004
<b>MINIMO VALOR MEDIO</b>	9,4	8,9	7,8	6,8	5,1	4,4	4,4	5,6	6,1	5,9	6,2	7,1	7,1
Año de ocurrencia	2008	2010	2002	2008	2002	2002	2001	2008	2010	2009	2009	2010	2010
<b>HUMEDAD RELATIVA (%)</b>	77,0	78,1	80,7	83,6	86,6	88,4	87,0	86,0	82,2	76,0	72,4	73,0	80,9
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>MAXIMO VALOR MEDIO</b>	84,6	80,8	86,7	87,3	92,0	91,3	90,5	90,6	87,9	81,0	76,1	77,5	82,9
Año de ocurrencia	2010	2004	2003	2002	2001	2005	2007	2002	2007	2002	2004	2003	2007
<b>MINIMO VALOR MEDIO</b>	71,9	74,1	77,8	77,7	81,7	82,0	82,3	80,4	77,2	67,9	65,5	62,5	77,3
Año de ocurrencia	2008	2008	2010	2005	2010	2002	2001	2010	2009	2010	2010	2010	2010
<b>HELIOFANIA EFECTIVA (horas)</b>	6,1	5,8	5,1	4,2	3,3	2,3	2,8	3,6	4,5	6,0	6,5	6,2	4,7
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>MAXIMO VALOR MEDIO</b>	8,1	7,3	6,8	5,0	4,4	3,2	3,5	4,3	6,1	6,9	7,7	8,9	5,3
Año de ocurrencia	2009	2009	2004	2003	2008	2009	2009	2005	2004	2009	2008	2008	2001
<b>MINIMO VALOR MEDIO</b>	3,5	3,8	4,0	3,4	2,4	0,5	1,6	2,6	3,5	5,2	5,6	3,7	4,0
Año de ocurrencia	2006	2003	2006	2002	2005	2004	2004	2002	2007	2007	2009	2005	2006
<b>HELIOFANIA RELATIVA (%)</b>	37,2	39,6	40,9	41,1	40,7	32,1	35,7	37,3	38,5	42,3	40,7	36,8	38,6
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>MAXIMO VALOR MEDIO</b>	49,4	50,3	55,2	49,2	54,9	45,0	45,1	44,5	50,6	49,3	48,1	52,9	43,4
Año de ocurrencia	2009	2009	2004	2003	2008	2009	2009	2005	2004	2009	2008	2008	2001
<b>MINIMO VALOR MEDIO</b>	21,7	26,5	32,3	33,6	29,2	6,5	19,9	26,9	29,5	37,1	34,7	21,8	33,5
Año de ocurrencia	2006	2003	2006	2002	2005	2004	2004	2002	2007	2010	2009	2005	2006

**Tabla 11. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Valores extremos.**

VALORES EXTREMOS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem.	Octubre	Noviem.	Diciem.	Anual			
													Día	Mes	Año	
<b>Presión a nivel estación (hPa)</b>																
Máximo	1018,5	1024,4	1030,6	1029,4	1032,0	1031,3	1038,9	1029,8	1030,6	1028,6	1029,0	1026,1	1038,9			
Día Año	31   2005	22   2006	29   2003	30   2007	27   2007	15   2005	18   2009	16   2007	13   2003	28   2005	10   2004	2   2008	18   2009			
Mínimo	963,7	956,5	962,0	968,0	968,6	962,0	965,8	966,2	952,1	958,5	969,2	967,6	952,1			
Día Año	16   2009	9   2010	2   2001	13   2007	1   2005	23   2010	11   2006	23   2002	17   2004	23   2003	20   2010	9   2010	17   SET   2004			
<b>Temperatura Máxima (°C)</b>																
Máximo	24,2	26,0	22,4	18,9	14,5	11,0	10,9	12,8	17,5	20,0	23,4	23,0	26,0			
Día Año	28   2009	6   2004	6   2003	9   2010	1   2006	11   2009	27   2003	9   2003	28   2009	28   2003	2   2003	27   2005	6   FEB   2004			
Mínimo	10,0	9,9	7,0	1,1	-0,5	-5,4	-6,1	-1,9	2,0	4,1	5,4	8,8	-6,1			
Día Año	29   2010	7   2010	20   2008	30   2007	25   2002	24   2002	8   2001	11   2001	17   2006	2   2010	11   2009	8   2005	8   JUL   2001			
<b>Temperatura Mínima (°C)</b>																
Máximo	12,8	14,9	13,5	8,6	7,0	5,9	3,8	4,1	6,2	7,2	9,0	10,5	14,9			
Día Año	26   2009	22   2004	10   2009	29   2010	9   2001	12   2009	25   2003	4   2006	25   2007	26   2006	8   2006	5   2008	22   FEB   2004			
Mínimo	-2,3	-1,7	-5,0	-7,0	-11,4	-15,1	-15,5	-9,5	-9,4	-6,7	-5,7	-2,0	-15,5			
Día Año	19   2007	27   2002	7   2002	21   2010	28   2007	7   2002	21   2001	11   2007	18   2006	27   2004	9   2009	17   2010	21   JUL   2001			
<b>Temperatura Bulbo Húmedo (°C)</b>																
Máximo	17,4	19,5	17,3	14,4	11,4	9,8	8,5	9,7	11,5	12,7	14,5	16,1	19,5			
Día Año	28   2009	27   2004	6   2003	9   2010	1   2006	11   2009	27   2003	21   2004	24   2008	30   2001	30   2008	27   2005	27   FEB   2004			
Mínimo	-2,3	-2,2	-5,4	-7,1	-11,3	-17,0	-17,5	-10,0	-9,1	-6,4	-5,5	-2,3	-17,5			
Día Año	19   2007	27   2002	30   2002	21   2010	28   2007	7   2002	21   2001	11   2007	18   2006	27   2004	5   2009	17   2010	21   JUL   2001			
<b>Tensión de Vapor (hPa)</b>																
Máximo	16,7	19,5	17,6	15,0	12,0	11,5	9,8	10,8	11,8	11,8	14,0	15,3	19,5			
Día Año	27   2010	27   2004	6   2008	4   2007	8   2008	11   2009	22   2005	21   2004	29   2001	30   2001	30   2008	28   2005	27   FEB   2004			
Mínimo	4,5	4,8	3,1	2,9	1,6	0,2	0,1	2,2	2,5	2,7	3,1	3,7	0,1			
Día Año	23   2008	27   2002	30   2002	23   2005	27   2002	3   2002	21   2001	10   2001	18   2006	13   2009	12   2009	11   2010	21   JUL   2001			
<b>Humedad Relativa (%)</b>																
Máximo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
Día Año	13   2001	1   2002	13   2001	1   2002	6   2001	16   2001	9   2001	1   2001	8   2001	4   2001	1   2001	3   2001	13   ENE   2001			
Mínimo	20	35	41	37	48	10	5	42	31	21	28	32	5			
Día Año	23   2008	28   2008	26   2005	12   2008	2   2010	3   2002	21   2001	13   2006	22   2003	18   2009	28   2007	6   2010	21   JUL   2001			
<b>Temperatura de Rocío (°C)</b>																
Máximo	14,7	17,1	15,5	12,9	9,5	9,0	6,5	8,0	9,3	9,5	12,0	13,4	17,1			
Día Año	27   2010	27   2004	6   2008	4   2007	8   2008	11   2009	27   2003	21   2004	29   2001	30   2001	30   2008	28   2005	27   FEB   2004			
Mínimo	-4,4	-3,2	-8,4	-9,3	-16,2	-39,1	-47,0	-12,5	-11,1	-10,3	-9,0	-6,5	-47,0			
Día Año	23   2008	27   2002	30   2002	23   2005	27   2002	3   2002	21   2001	10   2001	18   2006	13   2009	12   2009	11   2010	21   JUL   2001			
<b>Precipitación diaria (mm)</b>																
Máximo	24,0	34,0	19,0	20,0	17,0	26,0	17,0	15,0	30,0	22,0	60,0	29,0	60,0			
Día Año	5   2006	4   2001	26   2003	16   2007	2   2007	29   2006	15   2008	15   2009	9   2007	15   2003	22   2005	29   2002	22   NOV   2005			
<b>Viento</b>																
dd: grados ff: km/h																
Máximo	WSW/106	WNW/115	W/119	WSW/111	W/111	WNW/91	W/106	W/102	W/107	W/120	WNW/100	WNW/119	W/120			
Día Año	25   2001	1   2007	2   2001	23   2008	8   2006	16   2009	13   2006	21   2001	27   2007	9   2005	21   2010	12   2007	9   OCT   2005			



Tabla 12. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Número medio de días.

NÚMERO MEDIO DE DÍAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>VIENTO FUERTE (V&gt;=43 km/h)</b>	21,3	17,2	17,7	14,4	10,2	7,5	7,2	11,2	11,6	18,7	20,3	23	180,3
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	28	22	25	20	16	14	12	19	14	26	28	29	221
Año de ocurrencia	2002	2007	2001	2009	2009	2009	2003	2007	2009	2009	2001	2010	2009
MINIMO VALOR	14	12	13	9	4	3	5	5	6	11	12	8	145
Año de ocurrencia	2006	2004	2004	2003	2001	2008	2004	2002	2002	2004	2004	2003	2004
<b>TORMENTA</b>	0,7	0,6	0,4	0,3	0	0	0,1	0,4	0,3	1,6	2,5	1,2	8,1
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	2	2	2	1	0	0	1	1	1	5	8	4	17
Año de ocurrencia	2005	2002	2007	2001	2001	2001	2003	2002	2001	2009	2009	2005	2009
MINIMO VALOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
Año de ocurrencia	2003	2004	2001	2003	2001	2001	2001	2001	2003	2001	2004	2001	2006
<b>VENTISCA ALTA</b>	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Año de ocurrencia	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2009	2001	2001	2001	2001	2009
MINIMO VALOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Año de ocurrencia	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001
<b>VENTISCA BAJA</b>	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0,2
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
Año de ocurrencia	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2009	2009	2001	2001	2001	2001	2009
MINIMO VALOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Año de ocurrencia	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001
<b>PRECIPITACION &gt; 0.1 MM</b>	13,1	9,9	8,7	9,6	7,6	7,7	7,8	8,1	8,4	7,5	8,1	10,8	107,3
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	24,0	16,0	16,0	13,0	12,0	15,0	10,0	17,0	14,0	15,0	15,0	17,0	134,0
Año de ocurrencia	2003	2001	2003	2002	2003	2004	2007	2009	2002	2002	2005	2007	2007
MINIMO VALOR	6,0	2,0	5,0	4,0	3,0	1,0	3,0	4,0	4,0	2,0	4,0	5,0	90,0
Año de ocurrencia	2009	2005	2005	2003	2002	2002	2004	2001	2008	2001	2006	2009	2008
<b>CIELO CUBIERTO</b>	13,2	9,6	9,7	7,4	7,9	8,2	8,4	9,5	11,2	9,2	11,7	13	119
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	16	12	16	11	11	13	11	17	18	12	17	18	133
Año de ocurrencia	2006	2003	2008	2002	2006	2004	2002	2002	2007	2002	2001	2005	2006
MINIMO VALOR	9	6	5	5	3	3	7	4	5	5	6	9	105
Año de ocurrencia	2004	2005	2001	2001	2002	2002	2001	2003	2004	2008	2007	2008	2004
<b>CIELO CLARO</b>	0,2	0,9	2,4	2,5	5,6	5,9	7	5,7	3,6	2,1	0,9	0,4	37,2
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	1	3	6	5	10	9	10	10	6	3	4	2	45
Año de ocurrencia	2003	2003	2010	2003	2002	2003	2001	2004	2004	2008	2008	2001	2001
MINIMO VALOR	0	0	0	0	1	0	3	1	0	1	0	0	29
Año de ocurrencia	2001	2002	2002	2001	2005	2004	2003	2009	2006	2002	2001	2002	2005
<b>NIEBLA</b>	1,4	1,8	2,5	2	5,3	7,2	6,2	5,4	5,9	3,8	2,1	1,4	45
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	3	7	6	4	10	12	11	10	11	9	5	6	62
Año de ocurrencia	2005	2004	2003	2002	2004	2005	2002	2009	2002	2004	2005	2004	2004
MINIMO VALOR	0	0	0	0	2	2	4	2	1	2	0	0	30
Año de ocurrencia	2003	2003	2009	2005	2010	2009	2003	2010	2009	2002	2007	2002	2009
<b>TEMPESTAD DE POLVO O ARENA</b>	0,3	0,8	0,9	0,5	0,1	0	0	0	0,2	0,2	0	0,4	3,4
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	2	5	4	5	1	0	0	0	1	2	0	2	14
Año de ocurrencia	2002	2005	2001	2001	2002	2001	2001	2001	2006	2001	2001	2001	2001
MINIMO VALOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Año de ocurrencia	2003	2001	2004	2002	2001	2001	2001	2001	2001	2002	2001	2002	2004
<b>HELADA</b>	0,5	1,1	3,8	9,2	18,2	22,8	24,2	20,7	13,3	9,5	5,2	1	129,5
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	2	3	10	13	29	27	28	27	19	16	10	3	151
Año de ocurrencia	2005	2006	2002	2007	2002	2002	2001	2001	2001	2004	2009	2009	2001
MINIMO VALOR	0	0	0	5	8	13	16	16	9	3	2	0	104
Año de ocurrencia	2001	2001	2008	2009	2003	2004	2003	2006	2005	2006	2005	2001	2006
<b>NIEVE</b>	0,0	0,0	0,2	0,5	1,2	2,7	2,7	2,3	1,0	0,8	0,2	0,1	11,7
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	0,0	0,0	1,0	4,0	5,0	6,0	7,0	6,0	5,0	2,0	1,0	1,0	21,0
Año de ocurrencia	2001	2001	2002	2007	2002	2005	2007	2008	2006	2002	2005	2005	2007
MINIMO VALOR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
Año de ocurrencia	2001	2001	2001	2001	2003	2001	2003	2006	2003	2001	2001	2001	2004
<b>GRANIZO</b>	0,5	0,3	0,3	0,2	0	0	0,1	0,3	0,2	1,3	3,3	1,1	7,6
Número de años considerados	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MAXIMO VALOR	2	2	2	1	0	0	0	1	2	1	6	10	20
Año de ocurrencia	2005	2007	2007	2001	2001	2001	2003	2002	2002	2009	2009	2005	2009
MINIMO VALOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Año de ocurrencia	2002	2001	2001	2002	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2004	2001	2004

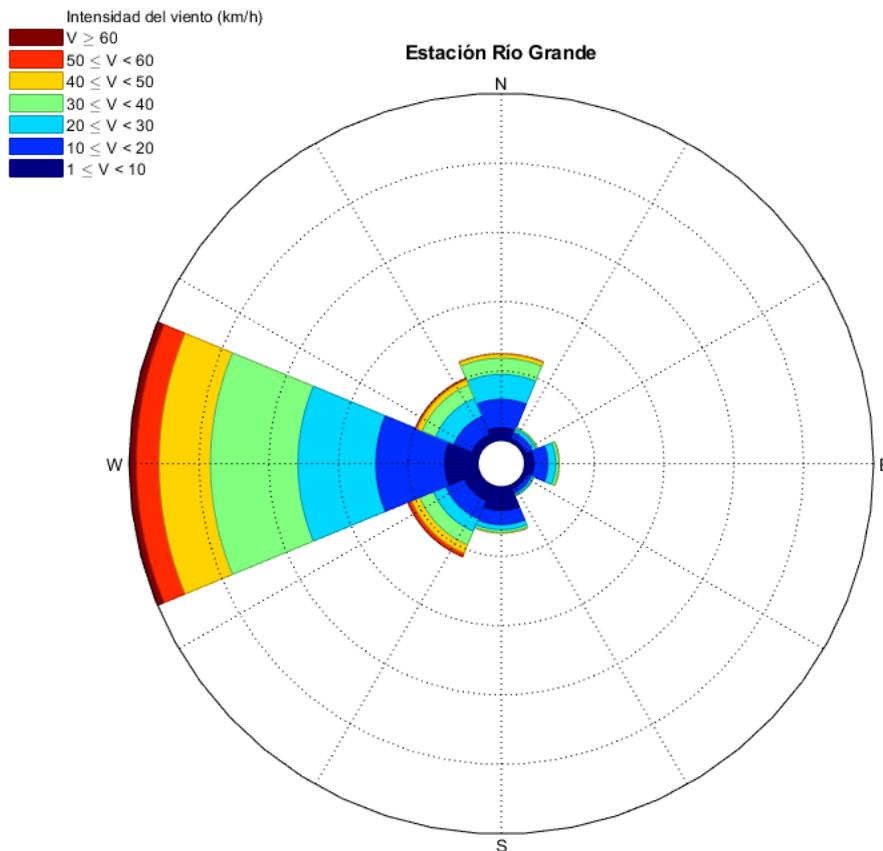


**Tabla 13. Estadística climatológica 2001-2010 para la estación Río Grande Aero del SMN. Velocidad media del viento y frecuencia por dirección.**

VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (KM/H) POR DIRECCIÓN Y FRECUENCIA DE DIRECCIONES EN ESCALA DE 1000														
DIR	FREC./VEL.MED.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
N	Frecuencia	63	66	55	41	54	29	28	45	119	78	83	94	63
	Velocidad Media	23,0	21,8	21,2	20,1	20,4	22,8	18,4	20,8	18,2	22,7	22,2	24,1	21,4
NE	Frecuencia	37	35	48	28	32	34	42	42	56	54	49	46	42
	Velocidad Media	19,1	20,1	18,1	16,6	18,6	20,6	18,6	16,8	15,7	19,7	19,7	19,2	18,5
E	Frecuencia	21	20	36	25	19	34	37	47	40	37	36	20	31
	Velocidad Media	18,4	19,7	18,4	19,4	17,0	15,3	17,1	19,5	14,6	16,7	16,5	19,6	17,5
SE	Frecuencia	31	28	24	42	34	51	54	57	33	24	22	20	35
	Velocidad Media	20,2	19,7	17,3	17,4	12,3	13,6	12,4	16,5	15,1	14,6	17,9	20,3	15,9
S	Frecuencia	11	21	26	51	65	60	37	42	37	19	24	20	35
	Velocidad Media	18,4	14,1	14,5	14,7	10,3	10,2	10,6	10,4	13,6	16,4	16,6	18,9	12,9
SW	Frecuencia	297	289	233	251	226	326	332	197	182	184	268	276	255
	Velocidad Media	31,4	29,3	27,6	24,4	19,5	16,4	17,1	20,2	24,3	27,1	29,4	31,9	24,8
W	Frecuencia	390	344	336	334	320	231	261	226	253	328	322	338	307
	Velocidad Media	32,5	30,3	28,5	27,4	24,0	22,8	23,2	25,9	27,5	31,9	33,1	34,2	28,9
NW	Frecuencia	142	190	225	206	202	161	155	292	242	258	188	175	203
	Velocidad Media	27,2	27,0	26,5	24,4	23,4	23,0	22,1	23,7	24,6	27,8	29,5	28,7	25,6
Calma	Frecuencia	8	8	17	22	48	75	53	50	38	19	8	9	30

Por otro lado, también se realizó para la estación Río Grande el análisis estadístico de la serie histórica de vientos horarios (años 1994-2019) provista por el SMN (Figura 61 y Tabla 14).

Los vientos soplan preponderantemente del sector oeste, los más frecuentes están entre los 10 km/h y 40 km/h.



**Figura 61. Distribución direccional de la velocidad del viento de la serie 1994-2019 de vientos horarios del SMN para la estación Río Grande.**



Tabla 14. Análisis estadístico direccional (arriba: número eventos, abajo: %) de la serie 1994-2019 de vientos horarios del SMN para la estación Río Grande.

Dirección	Velocidad del viento (km/h)										Total
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60-70	70-80	80-90	>90	
N	9723	8481	7476	4838	1189	178	13	2	0	0	31900
NE	1005	1976	1232	505	66	11	0	0	0	0	4795
E	2701	4202	2361	904	161	14	0	0	0	0	10343
SE	1251	1400	682	253	41	11	0	0	0	0	3638
S	7051	4209	1580	785	202	34	5	0	1	0	13867
SW	4878	5969	4072	4411	2635	1016	177	45	6	3	23212
W	9846	20552	23179	26058	15252	6783	1408	329	60	13	103480
NW	2363	5896	5919	4362	1651	465	73	17	4	0	20750
<b>Total</b>	<b>38818</b>	<b>52685</b>	<b>46501</b>	<b>42116</b>	<b>21197</b>	<b>8512</b>	<b>1676</b>	<b>393</b>	<b>71</b>	<b>16</b>	<b>211985</b>

Dirección	Velocidad del viento (km/h)										Total
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60-70	70-80	80-90	>90	
N	4,6%	4,0%	3,5%	2,3%	0,6%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	15,0%
NE	0,5%	0,9%	0,6%	0,2%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	0%	0%	2,3%
E	1,3%	2,0%	1,1%	0,4%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	0%	0%	4,9%
SE	0,6%	0,7%	0,3%	0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	0%	0%	0%	1,7%
S	3,3%	2,0%	0,7%	0,4%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0%	<0,1%	0%	6,5%
SW	2,3%	2,8%	1,9%	2,1%	1,2%	0,5%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	10,9%
W	4,6%	9,7%	10,9%	12,3%	7,2%	3,2%	0,7%	0,2%	<0,1%	<0,1%	48,8%
NW	1,1%	2,8%	2,8%	2,1%	0,8%	0,2%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0,0%	9,8%
<b>Total</b>	<b>18,3%</b>	<b>24,9%</b>	<b>21,9%</b>	<b>19,9%</b>	<b>10,0%</b>	<b>4,0%</b>	<b>0,8%</b>	<b>0,2%</b>	<b>&lt;0,1%</b>	<b>&lt;0,1%</b>	<b>100%</b>

También se presenta el análisis de series de datos de vientos del proyecto IOWAGA (Integrated Ocean Waves for Geophysical and other Applications), desarrollado por el instituto de investigación IFREMER (Francia). El proyecto utiliza los vientos provenientes de la base de ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts).

Los datos se encuentran organizados por mes y con un intervalo de tiempo de 3 horas. El tamaño de celda de la grilla de datos varía según la zona, desde la grilla de costa atlántica francesa con una resolución de 1/30° hasta la grilla GLOBAL con una resolución de 0,5°.

En la Figura 29 se muestra un mapa del Área Operativa Sísmica y de dos nodos IFREMER ubicados en la zona.

De estos nodos se extrajeron datos de intensidad y dirección del viento para los últimos 10 años completos (período 2009 a 2018).

El análisis estadístico se presenta en la Figura 62, en la Tabla 15 y en la Tabla 16.

El modelo muestra, para ambos nodos, que los vientos soplan preponderantemente del sector oeste, las velocidades más frecuentes están en el rango 5-12,5 m/s (18-45 km/h) y las máximas superan los 20 m/s (72 km/h).



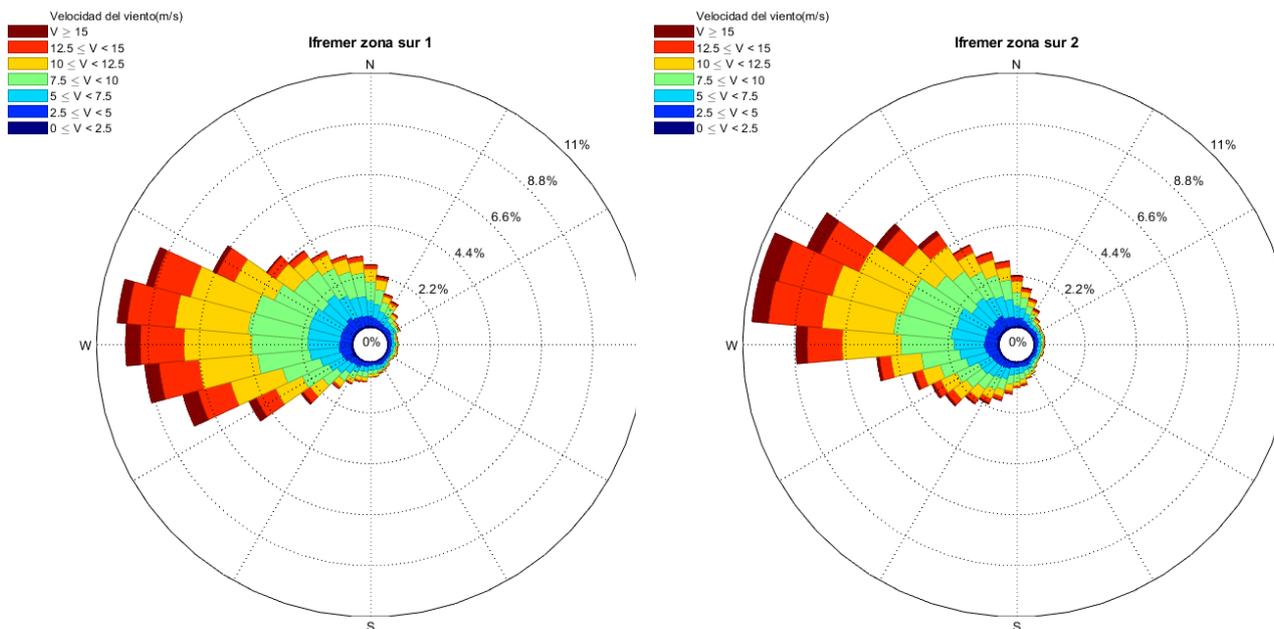


Figura 62. Rosas de los vientos para los nodos IFREMER 1 y 2, período 2009 a 2018.

Tabla 15. Análisis estadístico direccional (arriba: número eventos, abajo: %) de la serie 2009-2018 para el nodo IFREMER 1.

Dirección	Velocidad del viento (m/s)									Total
	0 - 2.5	2.5-5	5-7.5	7.5-10	10-12.5	12.5-15	15-17.5	17.5-20	>20	
N	99	502	905	1063	624	191	44	12	0	3440
NE	71	270	347	274	158	73	20	4	1	1218
E	73	164	148	109	76	29	9	0	0	608
SE	78	165	136	100	64	29	1	1	0	574
S	63	174	284	232	156	49	14	1	0	973
SO	111	388	673	913	878	519	166	24	8	3680
O	102	661	1697	3041	3648	2358	613	113	4	12237
NO	99	658	1582	1946	1461	614	114	10	2	6486
<b>Total</b>	<b>696</b>	<b>2982</b>	<b>5772</b>	<b>7678</b>	<b>7065</b>	<b>3862</b>	<b>981</b>	<b>165</b>	<b>15</b>	<b>29216</b>

Dirección	Velocidad del viento (m/s)									Total
	0 - 2.5	2.5-5	5-7.5	7.5-10	10-12.5	12.5-15	15-17.5	17.5-20	>20	
N	0,3%	1,7%	3,1%	3,6%	2,1%	0,7%	0,2%	<0,1%	0,0%	11,8%
NE	0,2%	0,9%	1,2%	0,9%	0,5%	0,2%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	4,2%
E	0,2%	0,6%	0,5%	0,4%	0,3%	<0,1%	<0,1%	0,0%	0,0%	2,1%
SE	0,3%	0,6%	0,5%	0,3%	0,2%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0,0%	2,0%
S	0,2%	0,6%	1,0%	0,8%	0,5%	0,2%	<0,1%	<0,1%	0,0%	3,3%
SO	0,4%	1,3%	2,3%	3,1%	3,0%	1,8%	0,6%	<0,1%	<0,1%	12,6%
O	0,3%	2,3%	5,8%	10,4%	12,5%	8,1%	2,1%	0,4%	<0,1%	41,9%
NO	0,3%	2,3%	5,4%	6,7%	5,0%	2,1%	0,4%	<0,1%	<0,1%	22,2%
<b>Total</b>	<b>2,4%</b>	<b>10,2%</b>	<b>19,8%</b>	<b>26,3%</b>	<b>24,2%</b>	<b>13,2%</b>	<b>3,4%</b>	<b>0,6%</b>	<b>&lt;0,1%</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 16. Análisis estadístico direccional (arriba: número eventos, abajo: %) de la serie 2009-2018 para el nodo IFREMER 2.

Dirección	Velocidad del viento (m/s)									Total
	0 - 2.5	2.5-5	5-7.5	7.5-10	10-12.5	12.5-15	15-17.5	17.5-20	>20	
N	99	437	780	804	565	254	64	10	0	3013
NE	82	223	245	181	136	56	21	8	1	953
E	68	175	175	101	56	27	12	0	0	614
SE	79	175	193	142	75	21	8	1	0	694
S	71	262	394	440	274	114	28	6	0	1589
SW	90	432	782	1020	771	340	105	15	2	3557
W	126	666	1635	2646	2888	1872	506	78	5	10422
NW	124	660	1490	2204	2134	1312	393	47	10	8374
<b>Total</b>	<b>739</b>	<b>3030</b>	<b>5694</b>	<b>7538</b>	<b>6899</b>	<b>3996</b>	<b>1137</b>	<b>165</b>	<b>18</b>	<b>29216</b>

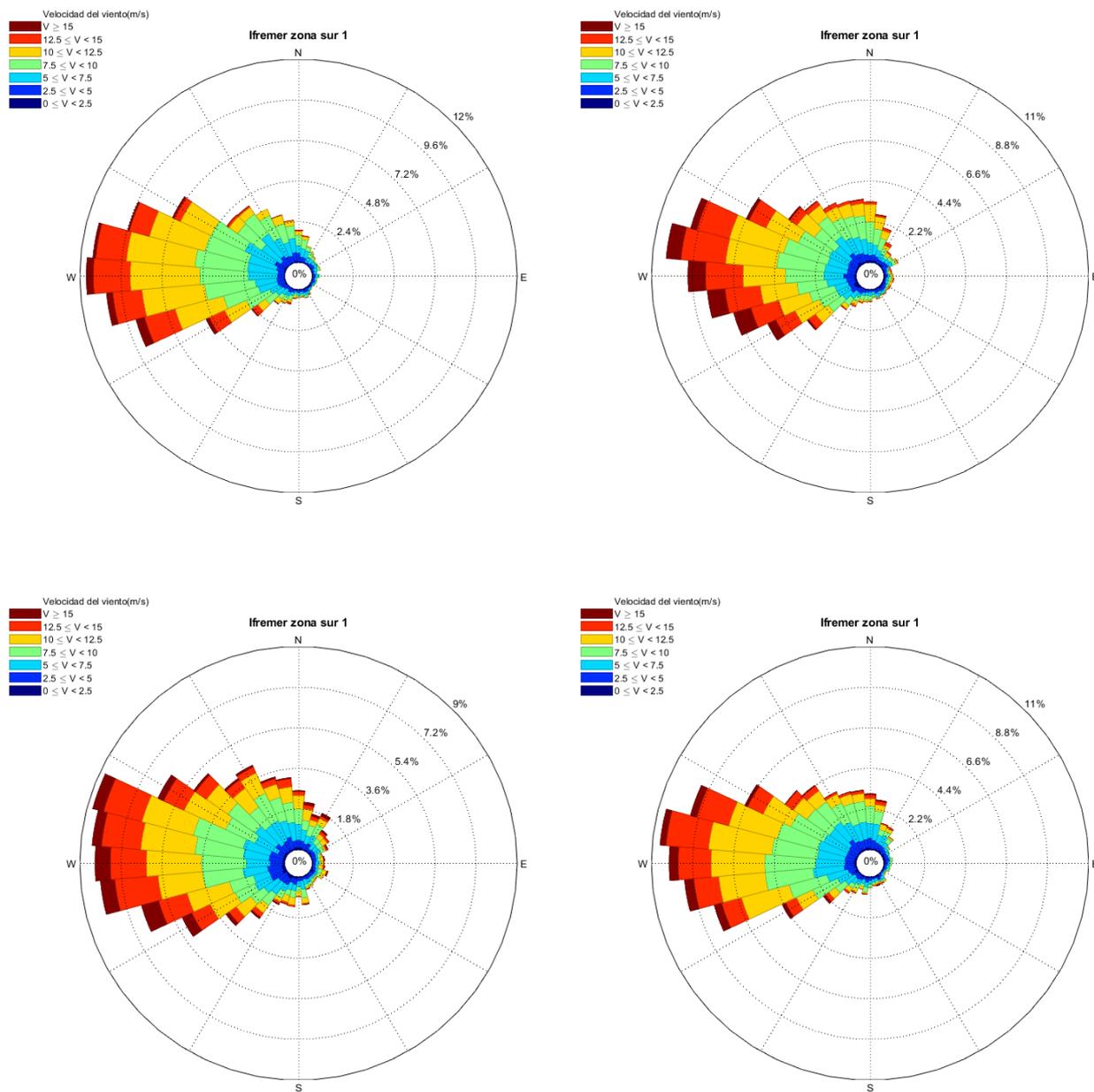
  

Dirección	Velocidad del viento (m/s)									Total
	0 - 2.5	2.5-5	5-7.5	7.5-10	10-12.5	12.5-15	15-17.5	17.5-20	>20	
N	0,3%	1,5%	2,7%	2,8%	1,9%	0,9%	0,2%	<0,1%	0,0%	10,3%
NE	0,3%	0,8%	0,8%	0,6%	0,5%	0,2%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	3,3%
E	0,2%	0,6%	0,6%	0,3%	0,2%	<0,1%	<0,1%	0,0%	0,0%	2,1%
SE	0,3%	0,6%	0,7%	0,5%	0,3%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0,0%	2,4%
S	0,2%	0,9%	1,3%	1,5%	0,9%	0,4%	<0,1%	<0,1%	0,0%	5,4%
SW	0,3%	1,5%	2,7%	3,5%	2,6%	1,2%	0,4%	<0,1%	<0,1%	12,2%
W	0,4%	2,3%	5,6%	9,1%	9,9%	6,4%	1,7%	0,3%	<0,1%	35,7%
NW	0,4%	2,3%	5,1%	7,5%	7,3%	4,5%	1,3%	0,2%	<0,1%	28,7%
<b>Total</b>	<b>2,5%</b>	<b>10,4%</b>	<b>19,5%</b>	<b>25,8%</b>	<b>23,6%</b>	<b>13,7%</b>	<b>3,9%</b>	<b>0,6%</b>	<b>&lt;0,1%</b>	<b>100%</b>

El análisis estacional de las series temporales se muestra en la Figura 63 y Figura 64 (nodos 1 y 2, respectivamente) para las estaciones verano, otoño, invierno y primavera.

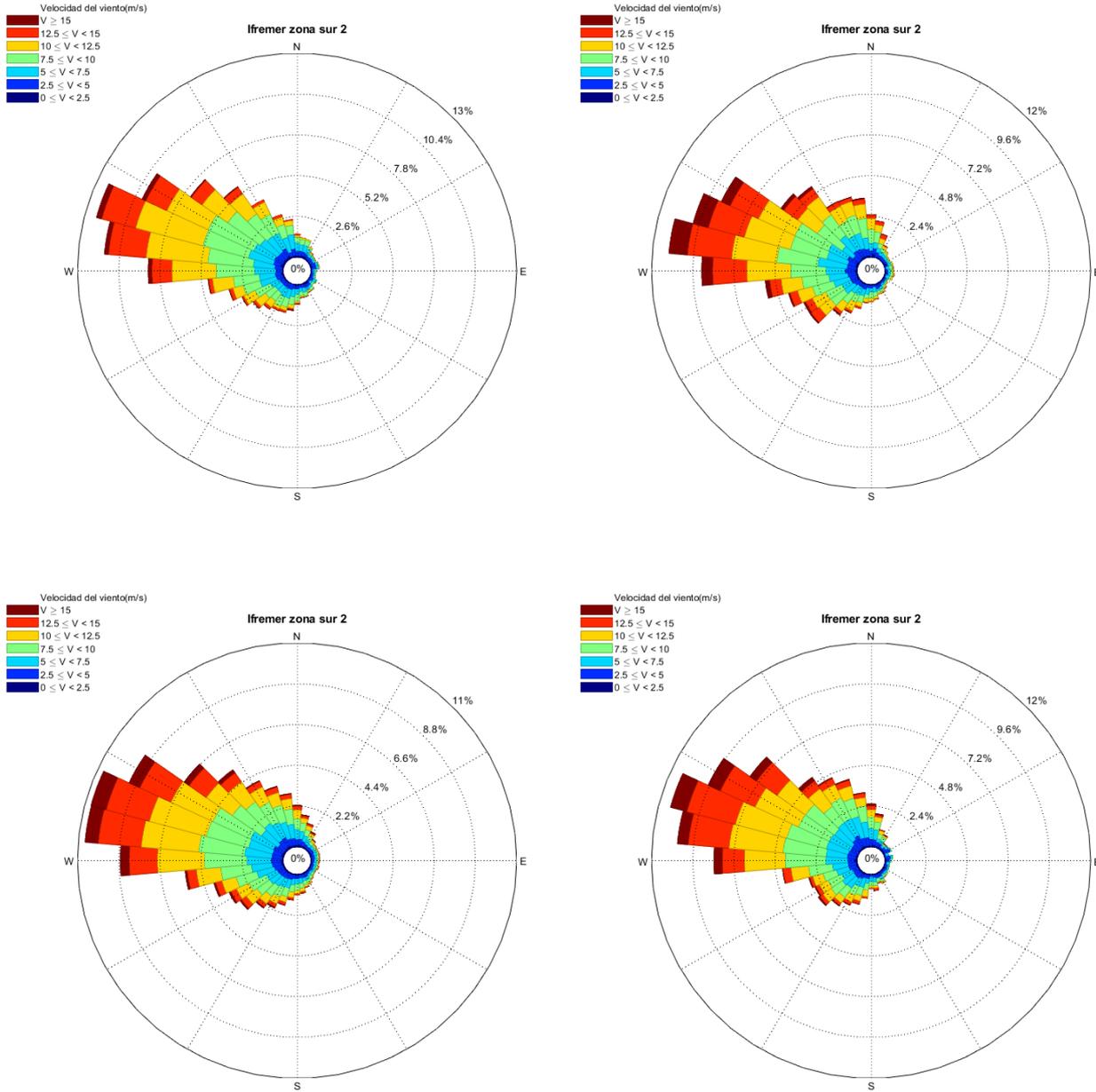
Los vientos más intensos se dan con mayor frecuencia en otoño e invierno.





**Figura 63. Rosas de los vientos para el nodo IFREMER 1, división estacional, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera.**





**Figura 64. Rosas de los vientos para el nodo IFREMER 2, división estacional, período 2009 a 2018. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: verano, otoño, invierno y primavera.**



#### 4 **BIBLIOGRAFÍA**

Acha, E.M., Mianzan, H.W., Guerrero, R.A., Favero, M., y Bava, J. (2004). Marine fronts at the continental shelves of austral South America. *Physical and Ecological Processes, J. Mar. Syst.*, 44, 83–105.

Anderson R.F., Barker S., Fleisher M., Gersonde R., Goldstein S.L., Kuhn G, Mortyn P.G., Pahnke K, Sachs J.P. (2014). Biological response to millennial variability of dust and nutrient supply in the Subantarctic South Atlantic Ocean. *Phil. Trans. R. Soc. A* 372: 20130054. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0054>

Ascuaga, E.; Palma, E. D.; Matano, R. P. (2011). Dinámica Oceánica En La Región Del Talud Patagónico. *Mecánica Computacional Vol XXX*, págs. 3483-3500. Rosario, Argentina, 1-4 Noviembre. Atlas de sensibilidad ambiental de la costa y el Mar Argentino. (2008). En Boltovskoy, D. (ed.). Buenos Aires, disponible en: <http://atlas.ambiente.gov.ar/>

Atlas de sensibilidad ambiental de la costa y el mar argentino. (2008)

Baristead, N., Z. Anka, R. Di Primio, J. F. Rodriguez, D. Marchal, y F. Dominguez (2013). New insights into the tectono-stratigraphic evolution of the malvinas basin, offshore of the southernmost argentinean continental margin. *tectonophysics* (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2013.06.009>

Bianchi, A. A.; Bianucci, I.; Piola, A. R.; Ruiz Pino, D.; Schloss, I.; Poisson, A. y Balestrini, C. F. (2005). Vertical stratification and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes in the patagonian shelf. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110.

Blumberg, A. F., y G. L. Mellor (1987), A description of a threedimensional coastal ocean circulation model. in *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Coastal Estuarine Sci., vol. 4, edited by N. S. Heaps, pp. 1–16, AGU, Washington, D. C., doi:10.1029/CO004p0001.

Brandhorst, W., y J. P. Castello (1971). Evaluación de los recursos de anchoita (*Engraulis Anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. Parte I. Las condiciones oceanográficas, sinopsis del conocimiento actual sobre la anchoita y el plan para su evaluación, *Proy. Des. Pesq. Ser. Inf. Tec.*, 29, 1–63.

Brun, A., Ramirez, N., Pizarro, O., y Piola, A. R. (2019). The role of the Magellan Strait on the southwest South Atlantic shelf. *Estuar. Coast. Shelf S.*, in review.

Campagna, C., Verona, C., y Falabella, V. (2006). Situación ambiental en la ecorregión del Mar Argentino. En: *La situación ambiental Argentina 2005*, Brown, A., Martinez Ortiz, A., Cerbi, M y Corcuera, J. (eds.). Fundación Vida Silvestre Argentina.

Campos, E. J. D., Mulkherjee, S., Piola, A. y De Carvalho, F.M.S. (2008a). A note on the mineralogical analysis of the sediments associated with the Plata river and Patos lagoon outflows. *Continental Shelf Research* 28, 1687-1691.

Cavallotto, J.I., Violante, R.A., y Parker, G. (2004). Sea level fluctuations during the last 8600 years in the Río de la Plata (Argentina). *Quaternary International* 114, 155-165.

Chiessi, C.M., Mulitza, S., Pätzold, J., Wefer, G. y Marengo, J.A. (2009). Possible impact of the Atlantic multidecadal oscillation on the South American summer monsoon. *Geophysical Research Letters* 36, I21707.



Clapperton, C. (1993). Quaternary geology and geomorphology of South America. Elsevier, 779 p., Amsterdam.

COPLA (2017). El margen continental argentino: entre los 35°S y los 55°S en el contexto del artículo 76 de la convención de las naciones unidas sobre el derecho del mar. - La edición bilingüe - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto. Comisión Nacional del límite exterior de la plataforma continental, 2017.

Costa, I.P., Cavallotto, J.L., Violante, R.A. y Paterlini, C.M. (2012). Sismoestratigrafía del pleistoceno superior-holoceno de la plataforma continental bonaerense. XIII Reunión Argentina de Sedimentología, Resúmenes, 58-59, Salta, Argentina.

D'Onofrio, E., Fiore, M. y Romero, S. (1999). Return periods of extreme water levels estimated for some vulnerable areas of Buenos Aires. Continental Shelf Research 19, 1681-1693.

D'onofrio, E. E., F. A. Oreiro, W. H. Grismeyer y M. M. E. Fiore (2016). Predicciones precisas de marea astronómica calculadas a partir de altimetría satelital y observaciones costeras para la zona de isla grande de Tierra del Fuego, Islas de los Estados y Canal de Beagle. Geoacta 40(2): 60-75 (2016). ISSN 1852-7744.

ENARSA s/f. Informes geológicos en áreas del Mar Argentino, Concurso público Nacional e Internacional para la exploración y explotación de áreas costa afuera (ronda 01).

Esbensen, S. K., y V. Kushnir (1981). The heat budget of the global ocean: An atlas based on estimates from surface marine observations. Technical report 29, Climatic Research Institute, Oregon State University, Corvallis, <http://ingrid.ideo.columbia.edu/SOURCE/OSUSFC>.

Etchichuri, M.C. y Remiro, J.R. (1963). La corriente de Malvinas y los sedimentos pampeano-patagónicos. Comunicaciones Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Ciencias Geológicas, 1, 1-11.

Fleming, K., Johnston, P., Zwart, D., Yokoyama, Y., Lambeck, K., y Chappell, J. (1998). Refining the eustatic sea-level curve since the last glacial maximum using far- and intermediate-field sites. Earth and Planetary Science Letters 163: 327-342.

Frenz, M., Höppner, R., Stuu, J.B.W., Wagner, T., y Henrich, R. (2004). Surface sediment bulk geochemistry and grain-size composition related to the oceanic circulation along the South American continental margin in Southwest Atlantic. En: Wefer, G., Mulitza, S. y Ratmeyer, V. (eds.). The south Atlantic in the Late Quaternary. Springer, 347-373, Berlin-Heidelberg.

Gaiero, D.M., Probst, J.L., Depetris, P.J., Lelyter, L., y Kempe, S. (2002). Riverine transfer of heavy metals from Patagonia to the southwestern Atlantic ocean. Regional Environmental Change 3, 51-64.

Gaiero, D.M., Probst, J.L., Depetris, P.J., Bidart, S.M., y Leleyter, L. (2003). Iron and other transition metals in Patagonian riverborn and windborne materials: geochemical control and transport to the South Atlantic Ocean. Geochimica et Cosmochimica 67, 3603-3623.

Gelos, E.M., Spagnuolo, J.O. y Lizasoain, G.O. (1988). Mineralogía y caracterización granulométrica de sedimentos actuales de la plataforma argentina entre los paralelos 39° y 43° de latitud sur y del Golfo San Matías. Revista de la Asociación Geológica Argentina 43, 63-79.



- Giberto, D.A., Bremec, C.S., Acha, E.M., y Mianzán, H.W. (2004). Large-scale spatial patterns of benthic assemblages in the SW Atlantic: the Río de la Plata estuary and adjacent shelf waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61, 1-13.
- Glorioso, P.D. y Flather, R.A. (1997). The patagonian shelf tides. *Progress in Oceanography* 40, 263-283.
- Govin, A., Holzwarth, U., Heslop, D., Keeling, L.F., Zabel, M., Mulitza, S., Collins, J.A., y Chiessi, C.M. (2012). Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36°n-49°s): Imprint of terrigenous input and continental weathering. *G3 Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 13, q01013.
- Guihou, K., Piola, A.R., Palma, E.D. y Chidichimo, M.P. (2020). Dynamical connections between large marine ecosystems of austral South America based on numerical simulations. *Ocean Sci.*, 16, 271–290, 2020.
- Hoffmann, J.A.J.; Nuñez, M.N.; Piccolo, M. C. (1997). Características climáticas del océano Atlántico Sudoccidental. *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros*. Tomo 1. Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales. Boschi, E.E. Editor INIDEP. Mar del Plata.
- Isla, F.I. y Cortizo, L.C. (2005). Patagonian cliff erosion as sediment input to the continental shelf. *XVI Congreso Geológico Argentino, Actas 4*, 773-778, La Plata.
- Jaime, P., Menéndez, A., Uriburu Quirno, M., y Torchio, J. (2002). Análisis de los regímenes hidrológicos de los ríos Paraná y Uruguay. Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, provincia de Buenos Aires, Informe LHA 05-216-02, 140 p., Buenos Aires.
- Levitus S, Conkright ME, Reid JL, Najjar RG y Mantyla A. 1993. Distribution of nitrate, fosfate and silicate in the world oceans. *Prog. Oceanog.* V. 31, pp 245-273.
- Lodolo, E., M. Menichetti, R. Bartole, Z. Ben-Avraham, A. Tassone y H. Lippai (2003). Magallanes-fagnano continental transform fault (Tierra del Fuego, Southernmost South America). *Tectonics*, 22(6), P. 1076, DOI: 10.1029/2003TC0901500.
- Madec, G. (2014). NEMO ocean engine, Note du Pole de modelisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, Tech. Rep. 27.
- Mahiques, M.M., Tassinari, C.C.G., Marcolini, S., Violante, R.A., Lopes Figueira, R.C., Almeida da Silveira, I.C., Burone, L. y De Mello e Souza, S. H. (2008). Nd and pb isotope signatures on the southeastern South America upper margin: Implicances for sediment transport and source rocks. *Marine Geology* 250: 51-63.
- Malumian, N. (1999). La sedimentación y el volcanismo terciarios en la patagonia extraandina. 1. La sedimentación en la patagonia extraandina. En caminos, R. (ed.) *Geología argentina*. Segemar-IGME, Buenos Aires, Anales 29: 557-612, Buenos Aires.
- Marcolini, S. (2005). Mineralogía de los sedimentos de la plataforma como posible indicador de cambios de circulación atmosférica y oceánica. 5° Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Resúmenes: 82, Mar del Plata.



Náñez, C., y Malumián, N. (2008). Paleobiogeografía y paleogeografía del mastrichtiense marino de la Patagonia, Tierra del Fuego y la plataforma continental argentina, según sus foraminíferos bentónicos. *Revista Española de paleontología* 23, 273-300.

Noble, T.L., Piotrowski, A.M., Robinson, I.F., Mcmanus, J.F., Hillenbrand, C.D., y Bory, A.J.M. (2012). Greater supply of patagonian sourced detritus and transport by the acc to the Atlantic sector of the Southern Ocean during the last glacial period. *Earth and Planetary Science Letters* 317-318, 374-385.

Padovani, L., M. L. Presta y F. Capitanio (2014). Potencial del mesozooplancton como sostén trófico en áreas productivas del mar Argentino. En: Informe de Campaña BO Puerto Deseado “Tierra del Fuego - Banco Burdwood”, Ushuaia - Ushuaia 29MAR14-4ABR14, Ushuaia - Mar del Plata 6ABR14-12ABR14. Gustavo A. Lovrich (Jefe Científico, compilador), Mariano J. Diez (compilador). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Mayo 2014.

Palma, E. D., Matano, R. P., Piola, A. R., y Sitz, L. (2004a). A comparison of the circulation patterns over the southwestern Atlantic driven by different wind stress climatologies. *J. Geophys. Res. Lett.*, 31, L24303, doi: 10.1029/2004gl021068.

Palma, E. D., Matano, R. P., y Piola, A.R. (2004b). A numerical study of the southwestern Atlantic shelf circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing. *J. Geophys. Res.*, 109, c08014, doi: 10.1029/2004jc002315.

Palma, E. D., Matano, R. P., y Piola, A.R. (2008). A numerical study of the southwestern Atlantic shelf circulation: stratified ocean response to local and offshore forcing. *J. Geophys. Res.*, 113, c11010, doi: 10.1029/2007jc004720.

Palma, E. D., y Matano, R. P. (2012). A numerical study of the Magellan Plume. *J. Geophys. Res.*, 117, C05041, <https://doi.org/10.1029/2011JC007750>.

Parker, G., y Violante, R.A. (1982). Geología del frente de costa y plataforma interior entre Pinamar y Mar de Ajó, prov. de Buenos Aires. *Acta Oceanográfica Argentina* 3: 57-91.

Parker, G., Violante, R.A., y Paterlini, C.M. (1996). Fisiografía de la plataforma continental. En: Ramos, V., y Turic, M. (eds.). *Geología y recursos naturales de la plataforma continental argentina*. Relatorio del XIII Congreso Geológico Argentino, 1-16, Buenos Aires.

Parker, G, Paterlini, C.M., y Violante, R.A. (1997). El fondo marino. En: Boschi, E. (ed.). *El mar argentino y sus recursos marinos*. INIDEP 1, 65-87, Mar del Plata.

Parker, G., Paterlini, C.M., Violante, R.A., Costa, I.P., Marcolini, S.I., y Cavallotto, J.L. (1999). Descripción geológica de la terraza rioplatense (Plataforma interior del noreste bonaerense). *Servicio Geológico y Minero Argentino, Boletín* 273, 98 p., Buenos Aires.

Parker, G., Violante, R.A., Paterlini, C.M., Marcolini, S., Costa, I.P., y Cavallotto, J.L. (2008). Las secuencias sismoestratigráficas del plioceno-cuaternario en la plataforma submarina adyacente al litoral del este bonaerense. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 15, 105-124.

Perillo, G.M.E., y Kostadinoff, J. (2005). Margen continental de la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F., y LLambías, E. (eds.). *Geología y recursos minerales de la provincia de Buenos Aires*. Relatorio 16º Congreso Geológico Argentino: 277-292, La Plata.



Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C., y Marcovecchio, J. (2005). Coastal oceanography of the western south Atlantic continental shelf (33°S to 55°S). En: Robinson, A.A. y Brink, K. (eds.). *The Sea. The global coastal ocean. Regional Studies and Syntheses*. J. Wiley y co.: 295-327, New York.

Peterson, R. G. y T. Whitworth III (1989). The Subantarctic and Polar Fronts in Relation to Deep Water Masses Through the Southwestern Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 94, 10817–10838, <https://doi.org/10.1029/JC094iC08p10817>.

Pierce, J.W., y Siegel, F.R. (1979). Suspended particulate matter on the southern Argentina shelf. *Marine Geology* 29, 73-91.

Piola, A.R., y Gordon, A.L. (1989). Intermediate waters in the southwest South Atlantic. *Deep-sea Research* 36, 1-16.

Piola, A.R., y Matano, R.P. (2001). The South Atlantic western boundary currents Brazil/Falkland (Malvinas) currents. En: Steele, J.M., Thorpe, S.A. y Turekian, K.K. (eds.) *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Academic Press, 340-349, Londres.

Piola, A., Matano, P., Palma, E., Osmar, O., Moller, J., Edmo, J., y Campos, D., (2005). The influence of the Plata river discharge on the western South Atlantic shelf. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, I01603, Doi : 10.1029/2004gl021638, 2005.

Piola, A.R., Martínez Avellaneda, N., Guerrero, R.A., Jardón, J.P., Palma, E.D., y Romero, S.I. (2010). Malvinas-slope water intrusions on the northern Patagonia continental shelf. *Ocean Science* 6, 345-359.

Piola, A. y R. P. Matano (2017). Brazil and Falklands (Malvinas) currents. En: *Ocean Currents: Atlantic western boundary—Brazil current/Falkland (Malvinas) current*, pp 340-349.

Piola, A.R., Castro, B.M., Guerrero, R.A., et al (2018). Overview on water masses, fronts and circulation of the subtropical and subantarctic shelves of the western South Atlantic. In: Hoffmeyer, M. (ed). *Plankton ecology of atlantic South America. From the subtropical to the subantarctic realm*. Springer, Heidelberg.

Ponce, J.J., y Carmona, N.B. (2011). Miocene deep-marine hyperpycnal channel levee complexes, Tierra del Fuego, Argentina: Facies associations and architectural elements. In: *Sediment transfer from shelf to deep water-revisiting the delivery system* (slatt, r.m.; zavalá, c.; editors). *American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology* 61: 75-93.

Pratson, L.F., Nittrouer, CH.A., Wiberg, P.L., Steckler, M.S., Swenson, J.B., Cacchione, D.A., Karson, J.A., Murray, A.B., Wolinsky, M.A., Gerber, T.P., Mullenbach, B.L., Spinelli, G.A., Fulthorpe, C.S., O'Grady, D.B., Parker, G., Driscoll, N.W., Burger, R.L., Paola, C., Orange, D.L., Field, M.E., Friedrichs, C.T. y Fedele, J.F. (2007). Seascape evolution on clastic continental shelves and slopes. En: Nittrouer, CH.A., Austin, J.A., Field, M.E., Kravitz, J.H., Syvitski, J.P.M. y Wiberg, P.L. (eds.) *Continental margin sedimentation, from sediment transport to sequence stratigraphy*. *International Association of Sedimentologists, Special publication* 37, 339-380.

Rabassa, J. (2008). Late cenozoic glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. En: Rabassa, J., (ed.). *The late cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. Developments in quaternary sciences* 11: 151-204, Amsterdam.



- Riccialdelli, L., M. L. Presta, A. Raya Rey y D. Fernandez (2014). Estructura trófica del ecosistema marino del Atlántico Sudoccidental y Canal Beagle mediante análisis de isotopos estables. En: Informe de Campaña BO Puerto Deseado "Tierra del Fuego - Banco Burdwood", Ushuaia - Ushuaia 29MAR14-4ABR14, Ushuaia - Mar del Plata 6ABR14-12ABR14. Gustavo A. Lovrich (Jefe Científico, compilador), Mariano J. Diez (Compilador). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Mayo 2014.
- Richiano, S., A. N. Varela, A. Cereceda y D. G. Poiré (2012). Evolución paleoambiental de la formación río Mayer, cretácico inferior, Cuenca Austral, Provincia de Santa Cruz, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* vol. 19 (1) 2012, 3-26.
- Romero, S. I., A. R. Piola, M. Charo, y C. A. Eiras Garcia (2006). Chlorophyll-a variability off Patagonia based on SeaWiFS data. *J. Geophys. Res.*, 111, C05021, <https://doi.org/10.1029/2005JC003244>
- Rostami, K., Peltier, W.R., y Manzini, A. (2000). Quaternary marine terraces, sea level changes and uplift history of Patagonia, Argentina: comparisons with predictions of the ice-4g (vm2) model of the global process of glacial isostatic adjustment. *Quaternary Science Review* 19, 1495-1525.
- Sabatini, M., Reta, R., y Matano, R. (2004). Circulation and zooplankton biomass distribution over the southern patagonian shelf during late summer. *Cont Shelf Res* 24, 1359–1373.
- Servicio de Hidrografía Naval (1961). Dunas gigantes en el Golfo de San Matías. Servicio de Hidrografía Naval, Publicación H-662, 12 p., Buenos Aires.
- Servicio de Hidrografía Naval (1993). Atlas oceanográfico de la cuenca argentina occidental y de la plataforma continental linderá. Servicio de Hidrografía Naval, publicación H-670, Buenos Aires.
- Shchepetkin, A.F. y McWilliams, J.C. (2005). The Regional Oceanic Modeling System (ROMS): a Split-Explicit, Free-Surface, Topography-Following-Coordinate Oceanic Model. Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Los Angeles, 405 Hilgard Avenue, Los Angeles, CA 90095-1567. This electronic version is available: <http://people.atmos.ucla.edu/alex/ROMS/ROMSArticle2005.pdf>
- Simionato, C., Dragani, W.C., Núñez, M., y Engel, M. (2004). A set of 3-d nested models for tidal propagation from the argentinean continental shelf to Río de la Plata estuary. *Journal of Coastal Research* 20, 893-912.
- Simionato, C.G., Meccia, V., Guerrero, R., Dragani, W.C. y Nuñez, M. (2007). The Rio de la Plata estuary response to wind variability in synoptic to intraseasonal scales: currents vertical structure and its implications on the salt wedge structure. *Journal of Geophysical Research, Oceans* 112: c07005.
- Simpson, J. H. (1981). The shelf-sea fronts: implications of their existence and behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences* 302, 531–546.
- So, C.L., Pierce, J.W. y Siegel, F.R. (1974). Sand waves in the gulf of San Matías, Argentina. *Geografiska Annaler* 56a: 227-235.



Southard, J.B. y Stanley, D.J. (1976). Shelf-break processes and sedimentation. En: Stanley, D.J. y Swift, D.J.P. (eds.). Marine sediment transport and environmental management. J. Wiley y Sons: 351-378, Nueva York.

Swift, D. (1976). Continental shelf sedimentation. En: Stanley, D.J. y Swift, D.J.P. (eds.). Marine sediment transport and environmental management. J. Wiley y Sons, 311-350, Nueva York.

Swift, D.J.P. (1968). Coastal erosion and transgressive stratigraphy. Journal of Geology 76: 444-456.

Tassone A., E. Lodolo, M. Menchetti, D. Yagupsky, M. Caffau y J. F. Vilas (2008). Seismostratigraphic and structural setting of the malvinas basin and its southern margin (Tierra del Fuego Atlantic Offshore). Geol acta 6:19–42.

Teruggi, M.E. (1954). El material volcánico-piroclástico en la sedimentación cuaternaria Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 9, 184-191.

Upton, J., y Shaw, C.J. (2002). An overview of the oceanography and meteorology of the Falklands Islands. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 12, 15-25.

Urien, C.M., y Ewing, M. (1974). Recent sediments and environment of southern Brazil, Uruguay, Buenos Aires, and Rio Negro continental shelf. In: Burk, C.A., Drake, C.L. (eds). The Geology of Continental Margins. Springer, Berlin, Heidelberg.

Urien, C.M., Martins, L.R. y Martins, L.R. (2003). Paleoplateformas e progradação deltaica do neógeno da margem continental do uruguai e norte da Argentina. Gravel 1, 40-46.

Violante, R.A., Paterlini, C.M., Marcolini, S., Cavallotto, J.L., Pastor Costa, I., Bozzano, G., Martínez, H., y De León, A.J. s/f. Investigaciones Geológicas y Geofísicas en el Margen Continental Argentino. División Geología y Geofísica Marina, Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval (SHN).

Violante, R.A., Parker, G., Cavallotto, J.L., y Marcolini, S. (1992). La secuencia depositacional del holoceno en el "Río" de la Plata y plataforma del noreste bonaerense. 4ª Reunión Argentina de Sedimentología, Actas 1: 275-282, La Plata.

Violante, R.A., y Parker, G. (2000). El holoceno en las regiones costeras y marinas del noreste de la provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 55, 337-351.

Violante, R.A. (2004). Coastal-marine processes and sediment supply during the post-lgm transgression in the northern part of the argentine continental shelf. 4th. Annual Conference Project IGCP 464 "Continental Shelves during the last glacial cycle", Abstracts 58-60, Roma-Ponza.

Violante, R.A., y Parker, G. (2004). The post-last glacial maximum transgression in the La Plata river and adjacent inner continental shelf, Argentina. Quaternary International 114, 167-181.

Violante, R.A. (2005). Submerged terraces in the continental shelf of Argentina and its significance as paleo-sea level indicators: the example of the rioplatense terrace. 5th. Annual Conference Project IGCP 464 "Continental Shelves during the last glacial cycle", Abstracts 97-99, San Petesburgo.

Violante, R.A. y Rovere, E.I. (2005). Los sedimentos de la plataforma submarina y su relación con el volcanismo andino neógeno. 16º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 239-246, La Plata.



Violante, R.A., Paterlini, C.M., Costa, I.P., Hernández-Molina, F.J., Segovia, L.M., Cavallotto, J.L., Marcolini, S., Bozzano, G., Laprida, C., García Chapori, N., Bickert, T., y Spieß, V. (2010). Sismoestratigrafía y evolución geomorfológica del talud continental adyacente al litoral del este bonaerense, Argentina. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis 17 (1), 33-62.

Violante, R.A., Costa, I.P., Cavallotto, J.L., Paterlini, C.M., Marcolini, S., y Bozzano, G. (2014). Rasgos morfosedimentarios, procesos y evolución de la plataforma continental argentina desde el último máximo glacial. Revista de la Asociación Geológica Argentina 71 (2), 292-310.

Zambrano, J.J., C. M. Urien (1970). Geological outlines of the basins in Southern Argentina and their offshore extension. Journal of geophysical research, 75, 1363-1396.

Zyryanov, V.N. y D.N. Sererov (1979). Water circulation in the Falkland patagonian region and its seasonal variation. Oceanology, Washington D.C., 19 (5): 518-522.

### **PÁGINAS WEB CONSULTADAS**

COPERNICUS. PROYECTO DE LA COMISIÓN EUROPEA, DE OBSERVACIÓN TERRESTRE DE ALTA CALIDAD. [HTTP://MARINE.COPERNICUS.EU/SERVICESPORTFOLIO/ACCESS-TO-PRODUCTS/](http://MARINE.COPERNICUS.EU/SERVICESPORTFOLIO/ACCESS-TO-PRODUCTS/)

ECMWF. EUROPEAN CENTER FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS

GEBCO. THE GENERAL BATHYMETRIC CHART OF THE OCEANS” LA CARTA BATIMÉTRICA GENERAL DE LOS OCÉANOS

GEOMAPAPP. APLICACIÓN GEOMAP DE LAMONT-DOHERTY EARTH OBSERVATORY DE LA UNIVERSIDAD DE COLUMBIA [WWW.GEOMAPAPP.ORG](http://WWW.GEOMAPAPP.ORG)

GLOBAL ATLAS OF OCEAN WAVES

IFREMER. INSTITUTO FRANCÉS DE INVESTIGACIÓN PARA LA EXPLOTACIÓN DEL MAR (INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER)

INPRES. INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA DE LA ARGENTINA

IOWAGA. INTEGRATED OCEAN WAVES FOR GEOPHYSICAL AND OTHER APPLICATIONS

NCEP. NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL PREDICTIONS

NOAA. NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

SHN: SERVICIO DE HIDROGRAFÍA NAVAL [HTTP://WWW.HIDRO.GOV.AR/](http://WWW.HIDRO.GOV.AR/)

SMN: SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL DE LA ARGENTINA

WOD. BASE DE DATOS OCEANOGRÁFICA WORLD OCEAN DATABASE, [HTTP://WWW.NODC.NOAA.GOV/](http://WWW.NODC.NOAA.GOV/) DE LA NOAA

