



Foro Mar
Patagónico

Cambio Climático. Tendencias y proyecciones en el Atlántico Sudoccidental - 2026



Cambio Climático. Tendencias y proyecciones en el Atlántico Sudoccidental

2026

Autores

Bárbara Franco	Investigador Principal CONICET, CIMA
Alberto Piola	Consultor independiente
Carla Natalia Gulizia	Investigador Asistente CONICET, CIMA
Solange Fermepin	Gerente de Conservación Costero Marina, WCS Argentina
Mariano González Roglich	Director, WCS Argentina
Valeria Falabella	Directora de Conservación Costero Marina, WCS Argentina

Instituciones

- Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA):
 - Universidad de Buenos Aires (UBA)
 - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
- Wildlife Conservation Society Argentina
- Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia



Financian



Cita recomendada

Franco, B., Piola, A., Gulizia, C., Fermepin, S., González Roglich, M., Falabella, V. (2026). **Cambio climático. Tendencias y proyecciones en el Atlántico Sudoccidental**. CIMA-CONICET, WCS Argentina, Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia. 65 pp.

Sobre el Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia

El Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia es una alianza regional de organizaciones de la sociedad civil dedicada a la conservación marina en el Cono Sur.

Desde hace más de dos décadas, promueve la protección del Mar Patagónico a través de la articulación entre ciencia, políticas públicas y participación social, impulsando iniciativas de conservación a escala regional. Su trabajo ha contribuido al desarrollo de áreas marinas protegidas, al fortalecimiento de la investigación científica y a la promoción de enfoques de gestión que integran múltiples actores e instituciones en Argentina, Chile, Brasil y Uruguay.

Más información: www.marpatagonico.org

Sobre el Programa Mar Patagónico Resiliente (+MaRes)

El Programa Mar Patagónico Resiliente (+MaRes) es una iniciativa colaborativa de alcance regional orientada a fortalecer la resiliencia de los ecosistemas marino-costeros del Mar Patagónico y de las comunidades que dependen de ellos.

A través de investigación aplicada, asistencia técnica al manejo de áreas protegidas y procesos participativos, el programa busca acompañar la adaptación frente a la creciente variabilidad climática y a otros cambios ambientales que impactan en el sistema oceánico y los territorios costeros. Sus acciones se desarrollan en sitios demostrativos de Argentina y Chile, promoviendo el intercambio de experiencias y la generación de aprendizajes que puedan escalar a nivel regional.

Aviso de uso

Este documento puede ser de circulación pública o interna según su carácter. En todos los casos, se solicita citar la fuente correspondiente.

Exención de responsabilidad y notas aclaratorias

Las denominaciones geográficas contenidas en esta publicación cumplen con la legislación vigente en la República Argentina a los efectos de su impresión.

Autoría

La autoría y la responsabilidad por el contenido de esta obra corresponden exclusivamente al Foro para la Conservación del Mar Patagónico y a las organizaciones que lo integran.

Límite de responsabilidad del Foro para la Conservación del Mar Patagónico

Las actividades, declaraciones y publicaciones del Foro se realizan sin perjuicio de las posiciones de los gobiernos sobre temas de soberanía en la región. La pertenencia al Foro y sus actividades se efectúan en un marco de respeto por los intereses de los países y gobiernos involucrados, así como de sus sociedades. La presencia de los miembros en el Foro no implica, representa ni expresa opinión propia, ni compromete la de ningún país u organización internacional, respecto del estatus legal de las áreas de mar, los territorios o las delimitaciones de frontera que se establecen en el área de interés.

INDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS DEL ESTUDIO	6
Objetivo General	6
Objetivos específicos	8
Preguntas que inspiraron el desarrollo de este estudio	8
RESUMEN METODOLÓGICO	9
I. Tendencias y cambios observados en el Mar Argentino	9
II. Proyecciones del cambio climático en el Mar Argentino	10
III. Exposición observada y proyectada del cambio climático en las AMP de la Argentina	12
IV. Exposición observada y proyectada del cambio climático en las biorregiones marinas de la Argentina	12
RESULTADOS I: Tendencias y cambios observados en el Mar Argentino	14
1. Temperatura superficial del mar (SST, 1982-2020)	14
2. Salinidad superficial del mar (SSS, 2010-2020)	15
3. Altura del nivel del mar (SLA, 1993-2022)	17
4. Clorofila superficial del mar (Chla, 2002-2022)	18
5. Profundidad de la capa de mezcla (MLD, 1993-2020)	19
6. Temperatura del aire a 2 m sobre el nivel del mar (T2M, 1980-2022)	21
7. Viento zonal (U10M positivo de oeste a este, 1980-2022)	22
8. Viento meridional (V10M positivo de sur a norte, 1980-2022)	23
RESULTADOS II: Proyecciones del cambio climático en el Mar Argentino	26
9. Temperatura superficial del mar (SST)	26
10. Salinidad superficial del mar (SSS)	27
11. Altura del nivel del mar (SSH)	28
12. Temperatura del aire a 2 m (T2M)	29
13. Viento zonal (U10M, positivo de oeste a este)	30
14. Viento meridional (V10M, positivo de sur a norte)	31
RESULTADOS III: Exposición observada y proyectada del cambio climático en las áreas marinas protegidas de la Argentina	33
15. Temperatura superficial del mar (SST)	33
16. Altura del nivel del mar	37
17. Temperatura del aire a 2 metros	40
RESULTADOS IV: Exposición observada y proyectada del cambio climático en las biorregiones del Mar Argentino	45
18. Temperatura superficial del mar (SST)	46
19. Altura del nivel del mar (SLA)	48
20. Temperatura del aire a 2 metros (T2M)	50
CONCLUSIONES	53
Respuestas a las preguntas que inspiraron este estudio	54
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXO I	59
ANEXO II	62



INTRODUCCIÓN
OBJETIVOS
RESUMEN METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

El Mar Argentino y su entorno de influencia en el Océano Atlántico Sudoccidental, es una de las regiones marinas más productivas del océano mundial (Acha et al. 2004, 2024, Lutz et al. 2010). Frentes oceanográficos, la intensa mezcla vertical inducida por el viento y la marea y procesos de surgencia sostienen la abundancia del fitoplancton tres veces superior a la media mundial, que sustenta grandes poblaciones de invertebrados marinos, peces, aves, mamíferos y depredadores superiores de gran relevancia ecológica y socioeconómica (Falabella et al. 2009, Alemany et al. 2014, Zerbini et al. 2015, Campagna et al. 2020, Acha et al. 2024), así como otros servicios ecosistémicos (Martinetto et al. 2020).

Las acciones humanas directas e indirectas suponen amenazas significativas para la integridad y el funcionamiento de este ecosistema, con la pesca intensa y la contaminación como principales amenazas localizadas (González Carman et al. 2014, Villasante et al. 2015, Kroodsma et al. 2018, Gianuca et al. 2020, Mandiola et al. 2021). El norte de esta región (norte de Argentina, Uruguay y sur de Brasil) ha sido identificado como una región de intenso calentamiento oceánico, destacada a nivel global (Hobday and Pecl 2013, Franco et al. 2020a, Franco et al. 2020b). Aun cuando los impactos del cambio climático ya son evidentes en el calentamiento del océano y en la distribución y abundancia de algunas especies (Pecl et al. 2017, Franco et al. 2020b, Buratti et al. 2022, García-Borboroglu et al. 2022), los potenciales impactos actuales y futuros del cambio climático en esta región todavía no se han evaluado, lo que limita los enfoques proactivos de planificación, conservación y gestión.

Este estudio determina qué áreas del Mar Argentino y su entorno (Figura 1), están más expuestas al cambio climático, identifica las regiones con mayor variabilidad de propiedades físicas y biológicas del océano, y también de las áreas con mayor tendencia lineal de estas propiedades durante las últimas décadas, en horizontes futuros a mediano (~2060) y largo plazo (~2100) bajo distintas trayectorias socioeconómicas compartidas (SSPs, de sus siglas en inglés Shared Socioeconomic Pathways). De manera complementaria se analizaron las correspondencias espaciales entre las áreas de mayor varianza y tendencia lineal en las últimas décadas de cada variable física y biológica analizada, y las áreas marinas protegidas (AMP) y biorregiones del Mar Argentino, permitiendo identificar las AMP y regiones más expuestas y potencialmente más vulnerables a la amenaza del cambio climático.

En el corto plazo, estos resultados serán utilizados para analizar la exposición y vulnerabilidad de especies prioritarias del Atlántico Sudoccidental al cambio climático, y para identificar áreas refugios y relevantes para abordar la adaptación y mitigación al cambio climático.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo General

El objetivo de esta investigación fue mejorar el conocimiento de los efectos del cambio climático en el Mar Argentino y su entorno, a través del estudio de los cambios observados durante las últimas décadas y los futuros escenarios de algunas variables físicas y biológicas claves del medio marino.

Figura 1. Área de análisis para este estudio.



Objetivos específicos

- Identificación de las áreas con las mayores tendencias lineales en un conjunto de variables físicas y biológicas clave del océano durante las últimas décadas.
- Identificación de las regiones con mayor variabilidad (varianza) en las variables analizadas.
- Análisis de la tendencia lineal de estas propiedades en horizontes futuros a mediano (~2060) y largo plazo (~2100) bajo distintas trayectorias socioeconómicas compartidas (SSPs, de sus siglas en inglés Shared Socioeconomic Pathways).
- Análisis de los resultados de las tendencias lineales y las proyecciones futuras a mediano y largo plazo en el contexto de las áreas marinas protegidas (AMP) y las biorregiones marinas de la Argentina.

Preguntas que inspiraron el desarrollo de este estudio

Esta investigación permite responder las siguientes preguntas:

- *¿Qué variables son clave para identificar áreas afectadas por el cambio climático y analizar acciones potenciales para implementar estrategias de adaptación y mitigación?*
- *¿Cuáles son las áreas del Mar Argentino y su entorno donde se identifican las mayores tendencias de cambio en las variables físicas y oceanográficas en las últimas décadas?*
- *¿Cuáles son las áreas del Mar Argentino y su entorno donde se proyectan los mayores cambios asociados al cambio climático en 2060 y 2100?*
- *¿Cómo afectan estos cambios analizados a las diferentes AMP del Mar Argentino?*

Los resultados presentados en este estudio son insumos claves para futuros análisis multidisciplinarios que permitirán responder las siguientes preguntas:

- *¿Qué especies marinas muestran mayor vulnerabilidad a la variabilidad climática y al cambio climático, y por qué? (distribución, éxito reproductivo, entre otros cambios)*
- *¿Cuáles son los principales indicadores del cambio climático que deberían ser objeto de seguimiento en las distintas AMP?*
- *¿Qué especies marinas serán potencialmente más vulnerables a la variabilidad y al cambio climático en 2060 y 2100 y por qué? (distribución, éxito reproductivo, otros cambios)*
- *¿Qué AMP del Mar Argentino serán más vulnerables al cambio climático en 2060 y 2100?*
- *¿Cuáles son los principales indicadores del cambio climático que deberían ser objeto de seguimiento en las distintas AMP en el futuro?*
- *¿Qué características serán clave para identificar áreas relevantes para abordar la adaptación y la mitigación del cambio climático en 2060 y 2100?*
- *¿Existen zonas de mayor vulnerabilidad futura al cambio climático (2060, 2100) que deben priorizarse para su conservación?*

RESUMEN METODOLÓGICO

I. Tendencias y cambios observados en el Mar Argentino

Para el estudio de los cambios observados durante las últimas décadas se utilizaron datos de temperatura de la superficie del mar, salinidad, clorofila, nivel del mar, profundidad de la capa de mezcla (como proxy para determinar la estratificación), temperatura del aire a 2 metros y vientos. Los datos de temperatura de la superficie del mar, salinidad, clorofila y nivel del mar se obtuvieron a partir de datos satelitales. Los datos de profundidad de la capa de mezcla se obtuvieron mediante el modelo MERCATOR (datos del Proyecto Europeo Copernicus Marine Environment Monitoring Service). Asimismo, se consideraron datos de viento a 10 metros sobre la superficie del mar y temperatura del aire a 2 metros, derivados de la 5ta generación de reanálisis (ERA5, Hersbach et al. 2020) del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), a los cuales se tuvo acceso mediante la plataforma de Copernicus Climate Change Service (C3S). En la Tabla 1 se sintetizan los datos analizados indicando la resolución espacial y temporal, y el período de estudio analizado.

Las tendencias observadas en las últimas décadas se estimaron mediante regresión lineal simple utilizando el método de cuadrados mínimos ordinarios, un enfoque estándar en el análisis de tendencias en series climáticas (e.g., Shaltout y Omstedt, 2014; Gulev et al., 2021). La variabilidad total se caracterizó mediante la desviación estándar de los promedios mensuales de cada variable. Para aquellas variables cuya variabilidad está dominada por el ciclo estacional (por ejemplo, la temperatura superficial del mar), se utilizó la desviación estándar de los promedios anuales como alternativa que anula la variabilidad estacional.

Tabla 1. Datos oceanográficos y atmosféricos observados.

Variable	Periodo	Resolución espacial	Resolución temporal	Fuente	Sitio
Temperatura superficial del mar	1982-2020	0.25° x 0.25°	mensual	AVHRR+VIIRS	NOAA OI SSTv2
Salinidad superficial del mar	2010-2020	25 x 25 km	mensual	Multi-mission	ESA SSS cci
Altimetría	1993-2022	0.25° x 0.25°	mensual	COPERNICUS	COPERNICUS
Clorofila	2003-2022	9 x 9 km	mensual	AQUA_MODIS	Oceancolor/gsfc/NASA
Profundidad de la capa de mezcla	1993-2020	0.25° x 0.25°	mensual	MERCATOR	COPERNICUS
Temperatura del aire a 2 m	1980-2022	0.25° x 0.25°	mensual	ERA5	COPERNICUS
10 m u-componente zonal del viento	1980-2022	0.25° x 0.25°	mensual	ERA5	COPERNICUS
10 m v-componente meridional del viento	1980-2022	0.25° x 0.25°	mensual	ERA5	COPERNICUS

II. Proyecciones del cambio climático en el Mar Argentino

Las proyecciones de cambio climático son experimentos numéricos diseñados para predecir cambios en las variables oceanográficas y atmosféricas asociados a distintas concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, según diferentes escenarios de desarrollo económico, que contemplan aspectos como la implementación de medidas de mitigación del cambio climático y el crecimiento poblacional, entre otros, para las próximas décadas. Las predicciones están asociadas a distintos niveles de incertidumbre y permiten identificar los escenarios climáticos más probables para las próximas décadas. Por lo tanto, todas las variables pueden utilizarse como indicadores clave para identificar las áreas de mayor cambio en el Mar Argentino y, en particular, en las AMP.

Para el estudio de los cambios proyectados para 2060 y 2100, se analizaron simulaciones de temperatura de la superficie del mar, salinidad, altura del nivel del mar, vientos zonal y meridional en superficie y temperatura del aire a 2 metros. Las simulaciones de estas variables corresponden a un conjunto de nueve modelos climáticos globales (MCGs) provenientes de la 6^{ta} fase del Proyecto de intercomparación de modelos de clima acoplados (CMIP6) (Tabla 2). Esta iniciativa reúne simulaciones climáticas basadas en distintos MCGs acoplados al océano y utilizados por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). El IPCC es un organismo dependiente de Naciones Unidas y funciona en cooperación con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, UNEP en inglés). Es asesor científico y académico de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y cuenta con el respaldo y la participación de la comunidad académica internacional para evaluar la información científica publicada sobre el cambio climático. Sus informes son la base para la negociación internacional sobre el cambio climático. Las proyecciones climáticas de los MCGs del CMIP6 se analizan bajo distintas Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) que describen futuros alternativos de desarrollo socioeconómico, que incluyen factores como la población, el crecimiento económico, la educación, la urbanización y el ritmo de desarrollo tecnológico. Las trayectorias SSP pueden combinarse con trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés) que implican distintos niveles de mitigación y consecuencias para la adaptación.

Para el presente análisis se evaluaron las trayectorias SSP2-4.5 y SSP5-8.5, que representan caminos futuros plausibles, intermedios y extremos (más pesimistas), respectivamente. El escenario SSP2-4.5 (emisiones medias) sigue aproximadamente la trayectoria de forzamiento global medio RCP4.5 (forzamiento radiativo alcanza 4.5 W/m² en 2100) con condiciones socioeconómicas SSP2 (que presenta un nivel medio de desafíos de mitigación y un nivel medio de desafíos de adaptación). El escenario SSP5-8.5 (emisiones muy altas) sigue aproximadamente la trayectoria de forzamiento global alto RCP8.5 con condiciones socioeconómicas SSP5, que presenta un nivel alto de desafíos de mitigación, pero un nivel bajo de desafíos de adaptación. El SSP5 es el único con emisiones lo suficientemente altas como para producir un forzamiento de 8.5 W/m² en 2100. La selección del subconjunto de MCGs utilizados (Tabla 2) se realizó teniendo en cuenta la resolución espacial de cada modelo y la disponibilidad de información de las seis variables analizadas en los dos escenarios climáticos considerados. Se accedió a las salidas de las simulaciones a través del Earth System Grid Federation (ESGF). La resolución horizontal, tanto del océano como de la atmósfera, difiere en algunos casos entre modelos. Por lo tanto, se procedió a interpolar todas las simulaciones en una retícula común de 1°x1°, utilizando una metodología de interpolación conservadora. Luego de tener todos los datos simulados interpolados, se procedió a realizar

los cálculos estadísticos para cada modelo individualmente. Es importante resaltar las limitaciones de dichos modelos para dar respuestas a problemas que requieran un entendimiento de los procesos que ocurren dentro de la retícula propia del modelo (es decir, donde se requiera una mayor resolución espacial en el análisis).

Por último, el análisis de las proyecciones consistió en calcular la diferencia entre las proyecciones futuras de las distintas variables oceanográficas y atmosféricas en el mediano y largo plazo (2041-2060 y 2081-2100 respectivamente), y el período histórico o baseline, entre 1994 y 2015. El cálculo de esta diferencia "futuro - baseline" permite estimar los cambios de cada variable debidos al cambio climático. Con las diferencias calculadas para cada modelo, se construye un ensamble de modelos a partir del cual se estima la robustez estadística de los cambios proyectados. Se considera que los cambios proyectados son robustos cuando el valor absoluto de la media del conjunto multi-modelo (ensamble) de las diferencias proyectadas calculadas supera la desviación estándar de los cambios proyectados en los modelos individuales del conjunto. La falta de robustez en los resultados puede deberse a (1) la falta de acuerdo entre los modelos en el signo, (2) la magnitud o el patrón espacial del cambio, o (3) a que la señal proyectada no se distingue claramente de la variabilidad interna. En consecuencia, a los cambios no robustos se les asigna un nivel de confianza bajo.

Tabla 2. Modelos climáticos globales (MCGs) derivados del CMIP6. Se incluye la resolución horizontal de la componente océano y atmósfera, respectivamente, junto con la institución que desarrolló cada modelo. Fuente: Earth System Grid Federation (ESGF).

Modelos climáticos	Centro de modelado y país	Resolución espacial (lon, lat)		Resolución temporal
		modelo oceánico	modelo atmosférico	
ACCESS-CM2	Comm Sci Ind Res Org, Canberra, AUSTRALIA	1° x 1°	1.875° x 1.25°	mensual
CNRM-CM6-1-HR	Centre Nat Rech Météor, Toulouse, FRANCIA	1° x 1°	0.5° x 0.5°	mensual
CNRM-ESM2-1	Centre Nat Rech Météor, Toulouse, FRANCIA	1° x 1°	1.4° x 1.4°	mensual
HadGEM3-GC31-LL	Met Office Hadley Centre, Exeter, INGLATERRA	1° x 1°	1.875° x 1.25°	mensual
INM-CM5-0	Inst Num Math, Russian Acad Sci, Moscow, RUSIA	0.25° x 0.5°	2.0° x 1.5°	mensual
IPSL-CM6A-LR	Inst Pierre Simon Laplace, Paris, FRANCIA	1° x 1°	2.5° x 1.26°	mensual
MIROC6	Japan Ag for Marine-Earth Sci Tech, Kanagawa, JAPÓN	1° x 1°	1.4° x 1.4°	mensual

III. Exposición observada y proyectada del cambio climático en las AMP de la Argentina

Los resultados de los efectos del cambio climático en el Mar Argentino fueron analizados en el contexto de las AMP. Este análisis fue preliminar y de carácter exploratorio y consistió en el cálculo de un promedio ponderado de las variables oceanográficas, atmosféricas y biogeoquímicas, tanto observadas como proyectadas, para cada AMP. El promedio ponderado se calculó considerando la fracción de cada celda espacial contenida en los polígonos de cada AMP, de modo que las celdas totalmente incluidas en el polígono contribuyen más al promedio que las con una fracción menor.

Los vientos no fueron incluidos en el análisis debido a su comportamiento marcadamente local, en el que su patrón espacial y direccional resulta tan relevante como su magnitud. Por esta razón, el promedio de los vientos en un área protegida no resulta representativo para evaluar su posible efecto.

El análisis presenta limitaciones asociadas a la resolución de los datos utilizados. Las observaciones tienen resoluciones del orden de los 9 y los 25 kilómetros, y las proyecciones tienen una resolución del orden de los 100 kilómetros; por lo tanto, las áreas marinas protegidas cercanas a la costa pueden no estar bien representadas en los datos, contener sólo una fracción pequeña de las celdas, un único dato o incluso ninguno. Si tenemos en cuenta que el 30% de las AMP argentinas tienen superficies de menos de 150 km², es importante analizar en detalle los resultados para cada AMP de manera individual, sobre todo para las AMP de menor superficie.

IV. Exposición observada y proyectada del cambio climático en las biorregiones marinas de la Argentina

Las biorregiones del Mar Argentino (Falabella *et al.*, 2023) representan una integración de las principales características oceanográficas, fisicoquímicas y biológicas del área, agrupadas en grandes zonas con cierto grado de homogeneidad. Abarcan extensiones que van desde 16.000 km² hasta casi 368.000 km².

De manera análoga a lo realizado para las AMP se calculó el promedio ponderado de los valores observados y proyectados de temperatura superficial del mar, del nivel medio del mar y de la temperatura del aire a 2 metros sobre el nivel del mar, para cada biorregión. Los resultados se presentan en el informe mediante dos tablas que sintetizan la información de los mapas. El gran tamaño de las biorregiones elimina las limitaciones en cuanto al número de datos utilizados al evaluar los resultados del cambio climático en cada biorregión.



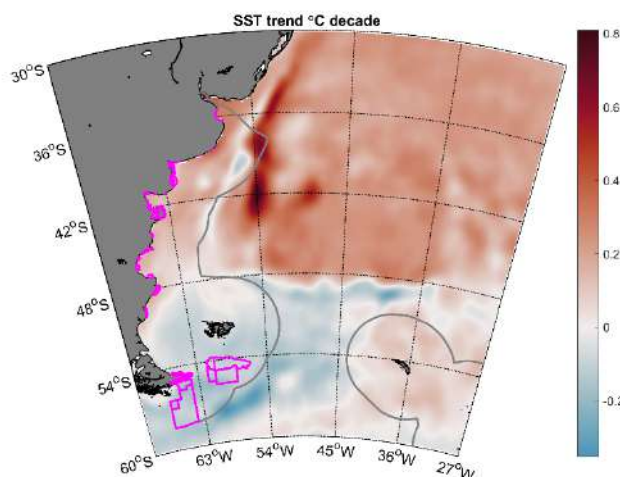
RESULTADOS I:
**Tendencias y cambios observados
en el Mar Argentino**

RESULTADOS I: Tendencias y cambios observados en el Mar Argentino

1. Temperatura superficial del mar (SST, 1982-2020)

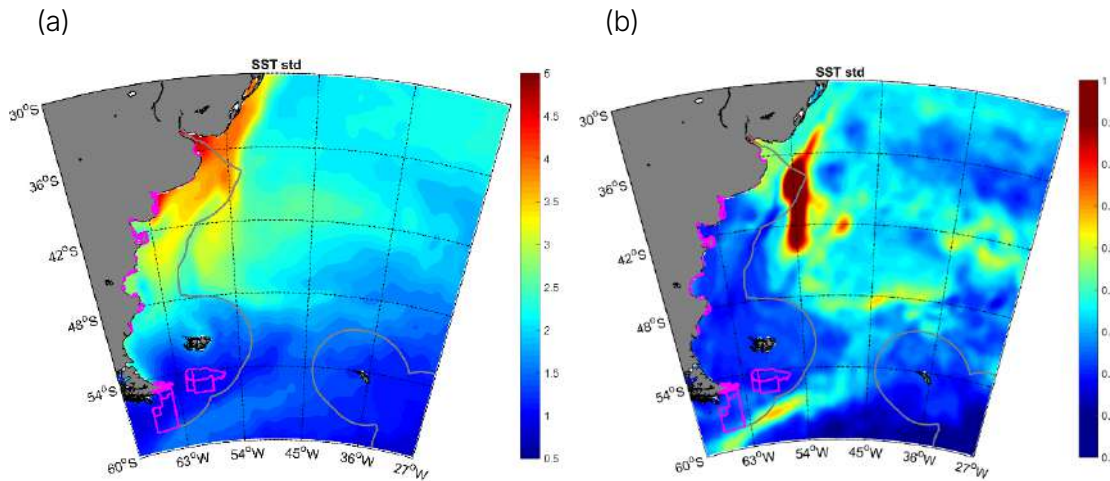
Durante el período 1982-2020, los cambios en la SST presentaron un patrón heterogéneo, con aumentos al norte de 48° S y disminuciones al sur de dicha latitud. Los aumentos de SST más acentuados ocurrieron a lo largo de la Corriente de Brasil (CB) (~2.4 °C) y en la Confluencia Brasil-Malvinas (~3.2 °C), equivalentes a tendencias de 0.6 y 0.8 °C/década respectivamente. La temperatura superficial en la plataforma patagónica aumentó principalmente cerca del Río de la Plata. La única región que experimentó enfriamiento al norte de 48°S es la porción norte de la corriente de Malvinas cerca de 38°S (Figura 2). Asimismo, se registró un calentamiento moderado en las inmediaciones de las Islas Georgias del Sur.

Figura 2. Tendencia de la temperatura superficial del mar (°C/década, 1982-2020). Las AMP están destacadas en color rosa.



La mayor variabilidad de la SST durante el período 1982-2020 se registró al norte de 42°S, principalmente a lo largo de la costa patagónica (~39°S-41°S), en el Río de la Plata y en la plataforma al norte de Argentina, Uruguay y el sur de Brasil, con valores de SST que alcanzan ~4-5 °C (Figura 3a). La extensión hacia el este de la corriente de Brasil (42°S) y el frente Subantártico (48°S) presentan variaciones de SST moderadas (~3 °C), ligeramente mayores a las aguas circundantes. Estas variaciones reflejan principalmente la variabilidad del ciclo estacional de la SST, que es el modo de variabilidad dominante de esta variable. Para investigar la variabilidad de la SST asociada a otros modos de variabilidad interna y al cambio climático, se eliminó el ciclo estacional y se repitió el ejercicio anterior (Figura 3b). En este caso, la mayor variabilidad se observó en la región de la Confluencia Brasil-Malvinas. A lo largo de la plataforma al norte de Argentina (~39° S), en el Río de la Plata y en el sur de Uruguay, se identificaron variaciones de SST de ~0.6 °C. El frente Subantártico (48° S) presenta variaciones de temperatura moderadas (>0.6 °C aproximadamente), algo mayores a las aguas circundantes.

Figura 3. Desviación estándar de la temperatura superficial del mar (°C): (a) con ciclo estacional, (b) sin ciclo estacional.

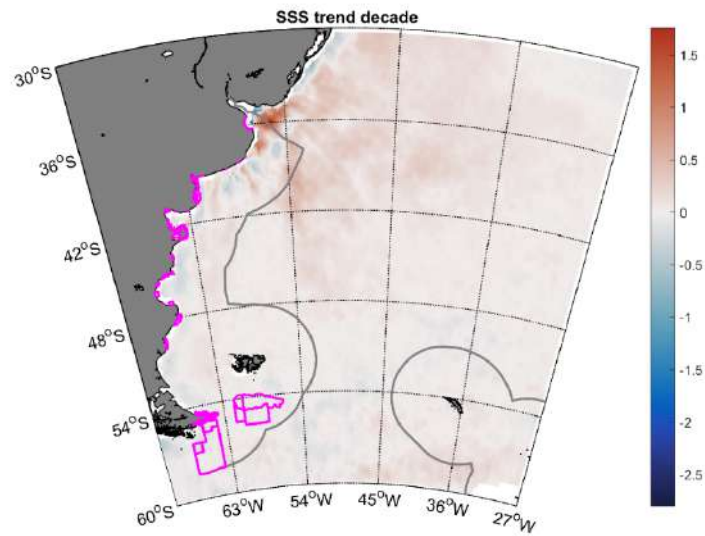


2. Salinidad superficial del mar (SSS, 2010-2020)

Los datos globales de salinidad obtenidos a partir de estimaciones satelitales abarcan sólo 10 años (2010-2020), lo cual es insuficiente para identificar variaciones asociadas al cambio climático (requieren al menos 30 años de datos). Dada la cantidad insuficiente de años con datos disponibles y la limitada resolución espacio-temporal (ver Tabla 1), los resultados que se presentan a continuación y su interpretación deben considerarse con cautela. Las regiones donde las tendencias y los desvíos patrón son más intensos posiblemente reflejan cambios reales ocurridos desde 2009.

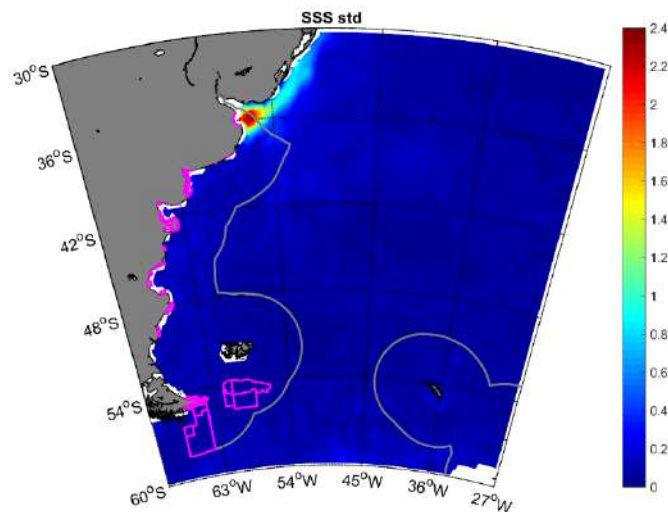
Durante el período 2010-2020, la SSS presentó un aumento más acentuado (~1,5) en la región frente al Río de la Plata y una disminución a lo largo de la costa sur de Brasil (Figura 4). Este último podría deberse a una mayor incidencia de la penetración de aguas diluidas del Río de la Plata en los últimos años del registro. En aguas oceánicas, las tendencias son generalmente positivas y moderadas en la región de la corriente de Brasil y al norte de la Confluencia Brasil-Malvinas, sugiriendo una mayor incidencia de las aguas subtropicales, consistente con el aumento de la temperatura descrito en la sección precedente.

Figura 4. Tendencia de la salinidad superficial del mar (/década).



La mayor variabilidad de la SSS ($\sim 2,4$) se registró en la plataforma continental, en las inmediaciones de la boca del Río de la Plata, Uruguay, y en el sur de Brasil, coincidiendo con la región de tendencias negativas (Figura 5). El ciclo estacional de la salinidad fue removido, por lo que estos cambios no están asociados a la alta variabilidad estacional del Río de la Plata ni a la topografía de fondo.

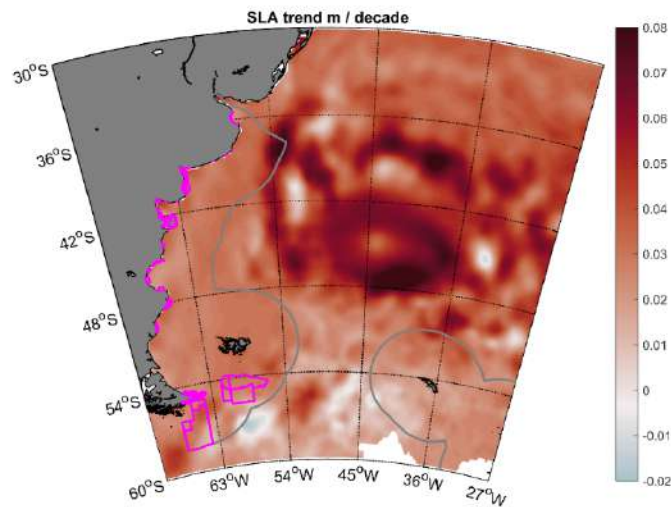
Figura 5. Desviación estándar de la salinidad superficial del mar.



3. Altura del nivel del mar (SLA, 1993-2022)

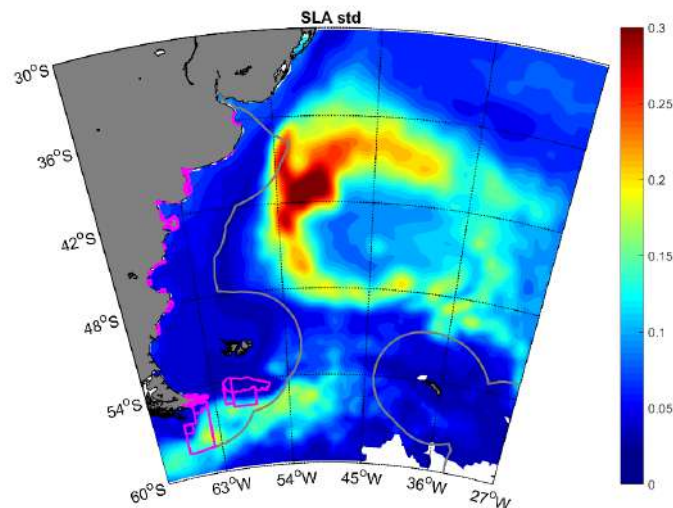
Durante el período 1993-2022, el nivel del mar en la región aumentó en promedio ~0.32 m, principalmente en el océano abierto. A lo largo de toda la plataforma continental argentina se registró un aumento del nivel del mar del orden de 0.02-0.04 m/década (Figura 6). La tendencia positiva (aumento del nivel del mar) es mayor en la región de la Confluencia Brasil-Malvinas y el océano abierto entre 36°S y 48°S, donde hay una extensa actividad de vórtices originados en la Confluencia Brasil-Malvinas que se desplazan hacia el este (océano abierto).

Figura 6. Tendencia de la altura del nivel del mar (m/década).



La altura del nivel del mar no presenta un ciclo estacional marcado y, por lo tanto, no fue necesario eliminarlo para analizar su variabilidad. En el período analizado, la mayor variabilidad se observó en la región de la Confluencia Brasil-Malvinas y en los vórtices de mesoescala asociados a las corrientes de borde oeste que se desplazan hacia el océano abierto (Figura 7).

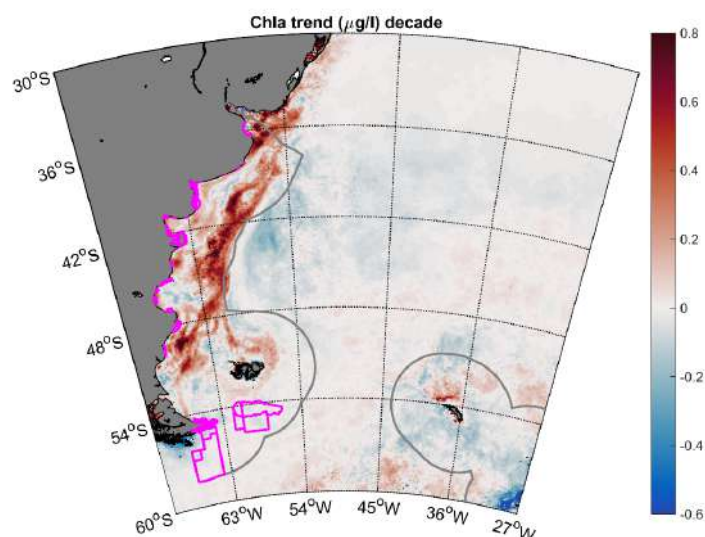
Figura 7. Desviación estándar de la altura del nivel del mar (m).



4. Clorofila superficial del mar (Chla, 2002-2022)

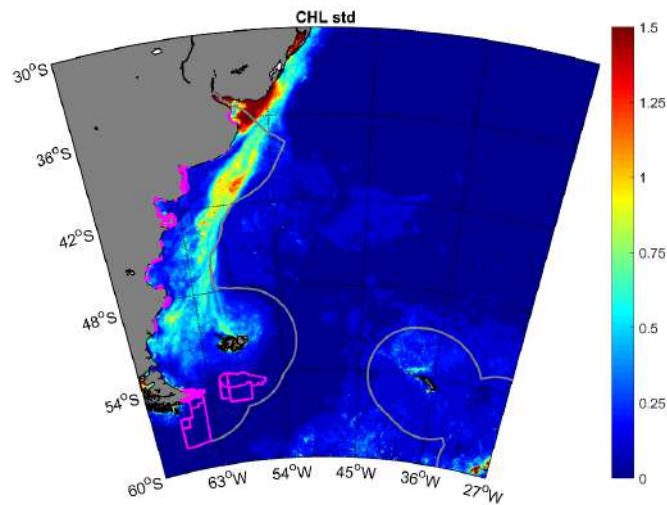
Durante el período 2002-2022, la clorofila presentó un aumento más acentuado a lo largo del frente de talud, la plataforma patagónica media, el Río de la Plata y una región costera localizada entre 48°S -50°S (Figura 8). La mayor parte del sector oceánico fuera de la plataforma mostró una disminución leve de la clorofila superficial, excepto en la corriente de retorno de Malvinas, donde se observó una disminución moderada. La tendencia positiva (aumento) de la clorofila superficial en regiones productivas es consistente y ya fue detectada en análisis previos (Marrari *et al.* 2017, Delgado *et al.* 2023). Sin embargo, hasta el momento no ha sido posible determinar las causas de las tendencias observadas en los datos satelitales. El trabajo de Delgado *et al.* (2017) analiza la tendencia lineal y la fenología de la clorofila, y sugiere que es posible que el calentamiento del mar y la mayor estratificación vertical asociada podrían favorecer el crecimiento del plancton durante un período más prolongado, aunque eso no implica necesariamente que exista una tendencia lineal positiva.

Figura 8. Tendencia de la clorofila de la superficie del mar ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}/\text{década}$).



La clorofila superficial presenta un fuerte ciclo estacional que depende principalmente de la temperatura del mar, la estratificación vertical, la disponibilidad de energía solar y de nutrientes, y, al igual que para la SST, es el modo de variabilidad dominante en esta variable. Por tal motivo, se removió la estacionalidad para analizar la variabilidad. Sin ciclo estacional, la mayor variabilidad de la clorofila superficial ($>1.5 \text{ mg}/\text{m}^3$) se observó en el Río de la Plata, Uruguay, sur de Brasil y Laguna de los Patos (Brasil), y en menor magnitud a lo largo del Frente de Talud y la plataforma patagónica media (Figura 9).

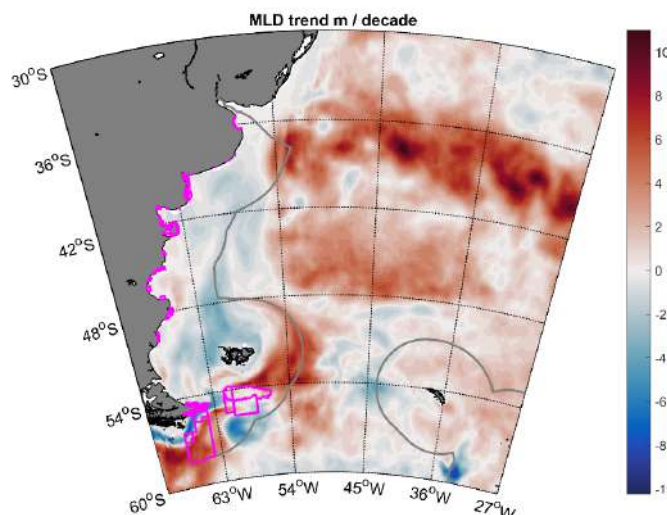
Figura 9. Desviación estándar de la clorofila de la superficie del mar sin ciclo estacional (mg/m^3).



5. Profundidad de la capa de mezcla (MLD, 1993-2020)

Durante el período 1993-2020, la profundidad de la capa de mezcla presentó un aumento acentuado (se volvió más profunda) en regiones del océano abierto (entre 8 y 10 m/década aproximadamente) y una disminución de unos 10 m/década en el sur de Tierra del Fuego e Isla de los Estados (Figura 10). El sector sur de la plataforma continental presenta una disminución moderada, de unos pocos m/década, mientras que, en el litoral bonaerense, el Río de la Plata y la plataforma continental de Uruguay y sur de Brasil no presentan cambios significativos. Es importante destacar que una menor profundidad de la capa de mezcla está asociada normalmente a una mayor productividad debido a un mayor aporte de nutrientes de aguas más profundas. Estos resultados son compatibles con el aumento de productividad observado en la plataforma continental.

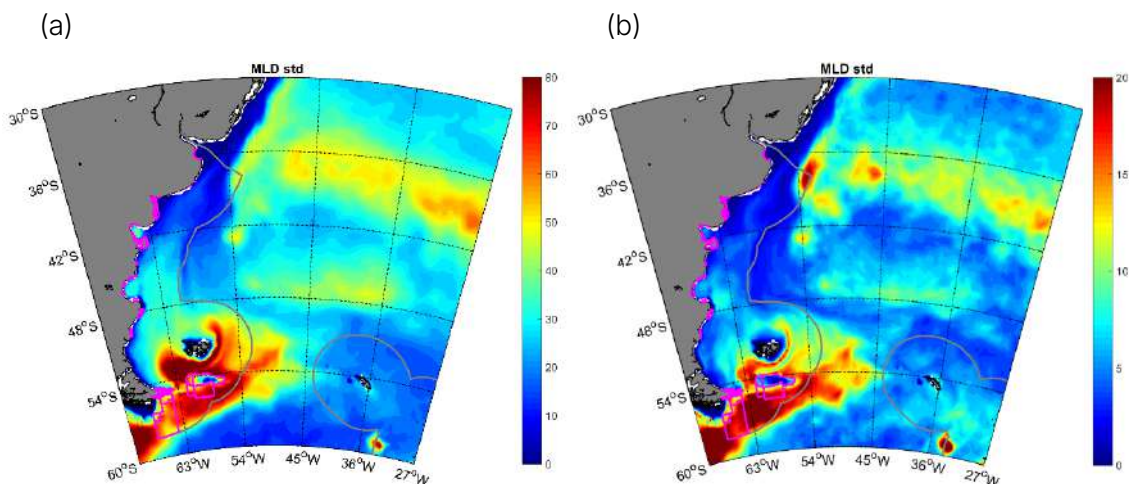
Figura 10. Tendencia de la profundidad de la capa de mezcla (m/década).



La mayor variabilidad de la profundidad de la capa de mezcla cuando se considera el ciclo estacional (Figura 11a) se debe a que, durante los inviernos, la capa de mezcla se profundiza varias decenas de metros debido a la pérdida de calor hacia la atmósfera y al consiguiente aumento de la densidad superficial, lo que disminuye la estratificación vertical y la convección. La mayor variabilidad se observó al sur de los 52° S en la plataforma continental argentina (15-20 m), principalmente al sur y sudoeste de las Islas Malvinas y en el sector norte de la Corriente Circumpolar Antártica (CCA) (Figura 11a). En el Banco Burdwood se identificó un fuerte mínimo de variabilidad (~5-30 m), debido a que la columna de agua se encuentra bien mezclada durante la mayor parte del año. A lo largo de la plataforma al norte de Argentina, Uruguay y sur de Brasil se registraron menores valores de variabilidad (<10m) (Figura 9(a)). Otros máximos locales de variabilidad se registraron a lo largo del eje de la corriente de Brasil y su extensión hacia el este a lo largo de 36-40° (~40-50 m), y en menor medida a lo largo del frente subantártico (48° S).

Al igual que la SST y la clorofila, la profundidad de la capa de mezcla tiene un fuerte ciclo estacional. Al eliminar este ciclo, los principales procesos que pueden modificar la profundidad de la capa de mezcla son el viento local y los vórtices de mesoescala en la Confluencia Brasil-Malvinas. El análisis removiendo el ciclo estacional mostró una variabilidad similar a la anterior, pero de menor magnitud (Figura 11b). Es interesante observar la mayor variabilidad de la profundidad de la capa de mezcla (>20m) en la región sur de la corriente de Brasil y de la Confluencia Brasil-Malvinas.

Figura 11. Desviación estándar de la profundidad de la capa de mezcla (m): (a) con ciclo estacional, (b) sin ciclo estacional.

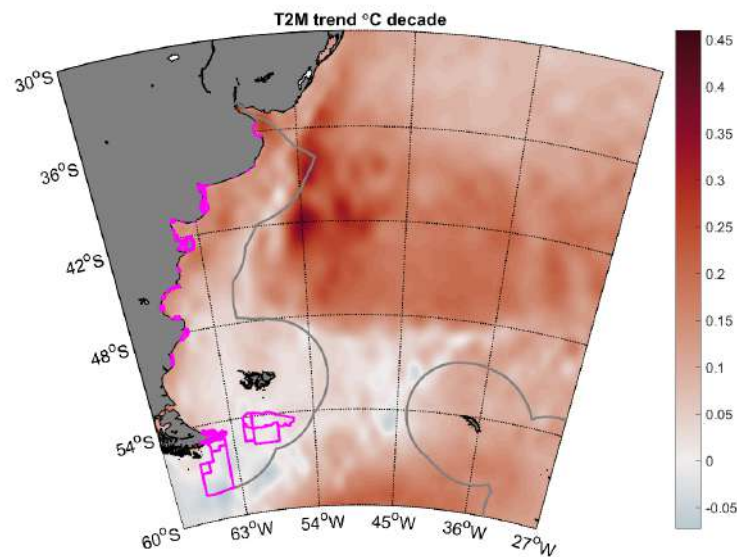


Las marcadas variaciones en la profundidad de la capa de mezcla durante el período 1993-2020 podrían estar asociadas al cambio climático. Las áreas que las registran se identifican como las potencialmente más impactadas por el cambio climático en toda la región de estudio y, por ende, las aguas superficiales asociadas a estas regiones son las que deben haber sufrido cambios importantes en el flujo vertical y, en consecuencia, en el aporte de nutrientes necesarios para la productividad primaria.

6. Temperatura del aire a 2 m sobre el nivel del mar (T2M,1980-2022)

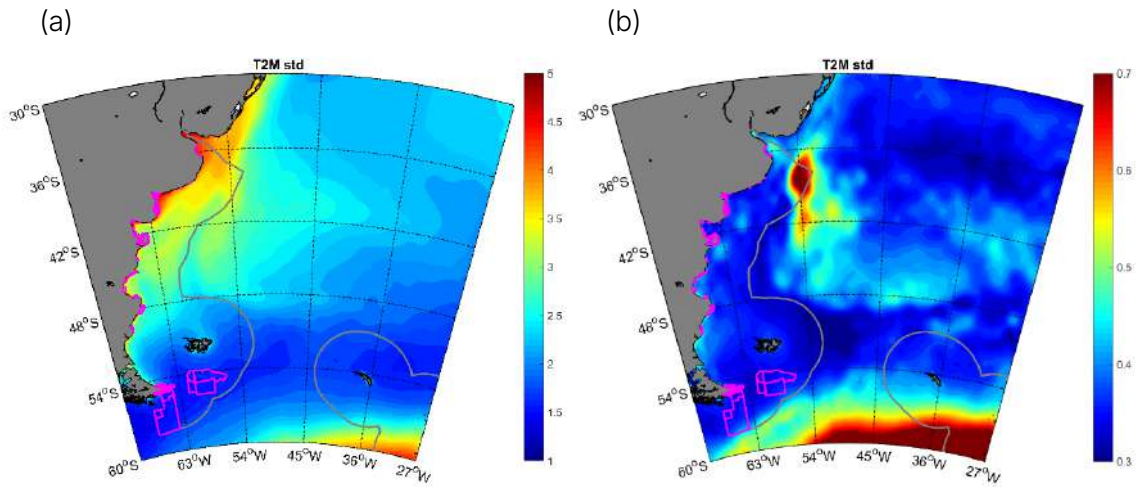
Durante el período 1980-2022, la temperatura del aire a 2 metros de altura sobre el nivel del mar presentó un aumento acentuado, de entre 0.3 y 0.45 °C/década, a lo largo de la corriente de Brasil y en la Confluencia Brasil-Malvinas. Al norte de 54° S, la T2M aumentó sobre la plataforma principalmente cerca del Río de la Plata y se enfrió en el extremo sur, al SE de Tierra del Fuego (Figura 12).

Figura 12. Tendencia de la temperatura del aire a 2 m sobre el nivel del mar (°C/década).



La mayor variabilidad de la T2M (entre 4.5 y 5 °C) se observó a lo largo de la costa entre 39°S y 41°S, en el Río de la Plata y en la plataforma norte de Argentina, en Uruguay y al sur de Brasil (Figura 13a). La T2M es otra variable con fuerte ciclo estacional. Al eliminarlo, la mayor variabilidad de la T2M (~0.8 °C) se observó en la región de la Confluencia Brasil-Malvinas (Figura 13b). También se identificó una muy alta variabilidad de T2M sobre la corriente Circumpolar Antártica (>0.8 °C). En el Río de la Plata y el norte de la plataforma argentina la variabilidad fue moderada (~0,5 °C). El frente subantártico (48° S) presenta variaciones de temperatura moderadas (> 0,45 °C aproximadamente), algo mayores a las aguas circundantes. Los patrones espaciales observados en la tendencia y la variabilidad de T2M son similares a los de las tendencias y variaciones de SST (Figuras 2, 3a y 3b).

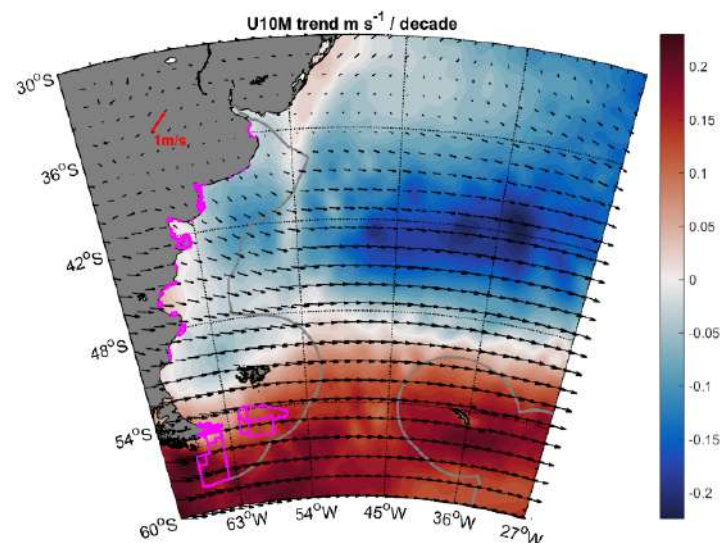
Figura 13. Desviación estándar de la temperatura del aire a 2 m del nivel del mar (°C): (a) con ciclo estacional, (b) sin ciclo estacional.



7. Viento zonal (U10M positivo de oeste a este, 1980-2022)

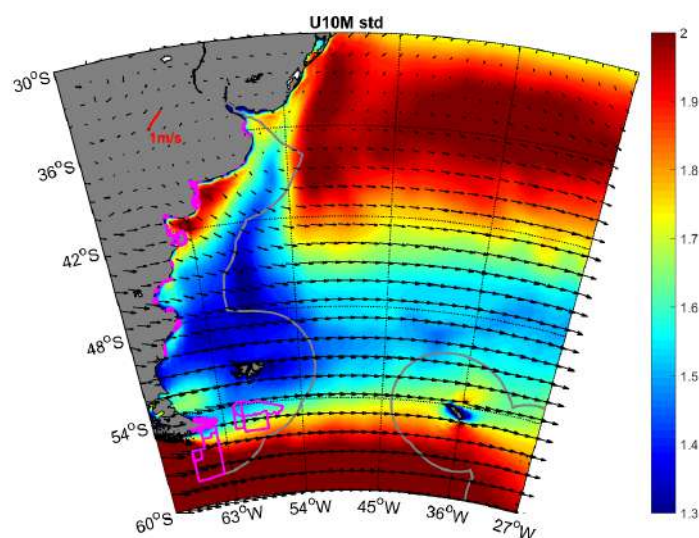
Durante el período 1980-2022 se identificó un aumento de los vientos del oeste más acentuado sobre la corriente Circumpolar Antártica, y una disminución de los mismos al norte de $\sim 52^\circ\text{S}$ sobre la plataforma patagónica y el Océano Atlántico Sudoccidental. La tendencia negativa intensa en el sector oceánico a lo largo de 42°S indica una disminución de la intensidad de los vientos del oeste, mientras que al norte de 35°S , aproximadamente, se observó un aumento de la intensidad de los vientos del este (Figura 14). El patrón de las tendencias del viento zonal durante las últimas décadas es consistente con el desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Atlántico Sur y del máximo de los vientos del oeste.

Figura 14. Tendencia del viento zonal a 10 m del nivel del mar ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}/\text{década}$). Los vectores corresponden al viento medio en la región, promediado en todo el período observacional.



Las variaciones del viento en esta región están dominadas principalmente por la escala sinóptica (eventos meteorológicos de pocos días de duración); por lo tanto, sólo se analiza la variabilidad total de ambas componentes del viento. La mayor variabilidad del viento zonal se registró sobre la corriente Circumpolar Antártica, a lo largo de la Corriente de Brasil, la Confluencia Brasil-Malvinas y su extensión hacia el este, el sur de la región costera bonaerense y el norte de la costa patagónica (Figura 15). La variabilidad del viento zonal fue menor en el sur de la plataforma patagónica y a lo largo de la corriente de Malvinas.

Figura 15. Desviación estándar del viento zonal a 10 m del nivel del mar ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Los vectores corresponden al viento medio en la región, promediado en todo el período observacional.



8. Viento meridional (V10M positivo de sur a norte, 1980-2022)

Durante el período 1980-2022, se registró una atenuación de los vientos del norte sobre el Río de la Plata, la plataforma continental desde el sur de Brasil hasta el norte de Argentina y la Confluencia Brasil-Malvinas. En el resto del dominio, se observó un aumento en la intensidad de los vientos del sur, que fue máxima sobre la plataforma argentina entre $\sim 48\text{-}54^\circ\text{S}$ en el P. Drake y el Mar de Scotia (Figura 16).

La mayor variabilidad del viento meridional se observó en el área de la CCA. Al norte de 48°S se registró la menor variabilidad del V10m principalmente a lo largo de la costa bonaerense patagónica, Río de la Plata, y a lo largo de la plataforma al norte de Argentina y sur de Brasil (Figura 17).

Figura 16. Tendencia del viento meridional a 10 m del nivel del mar ($\text{m.s}^{-1}/\text{década}$). Los vectores corresponden al viento medio en la región, promediado en todo el período observacional.

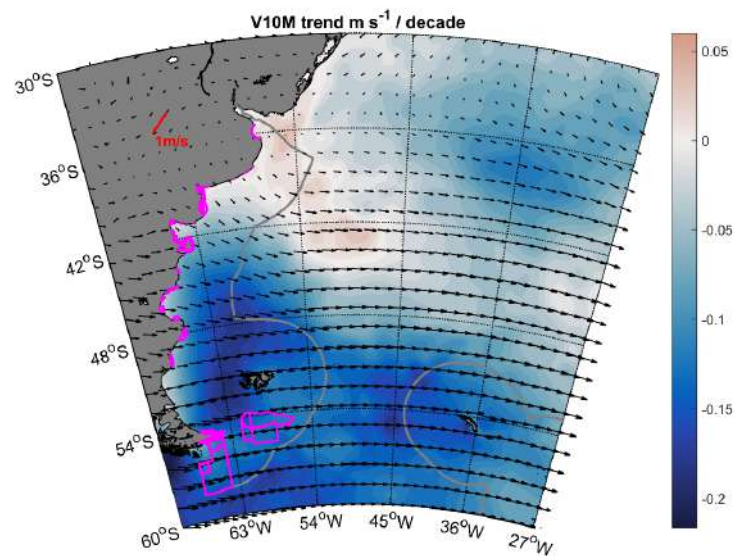
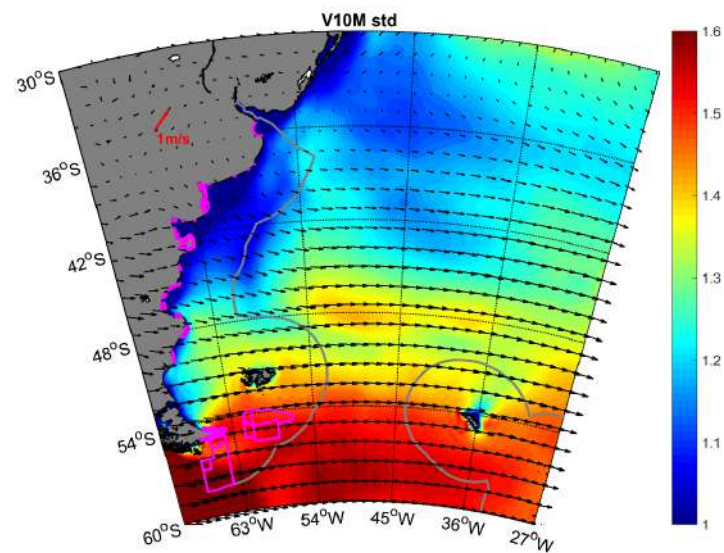


Figura 17. Desviación estándar del viento meridional a 10 m del nivel del mar (m.s^{-1}). Los vectores corresponden al viento medio de la región, promediado durante todo el período observacional.





RESULTADOS II:
**Proyecciones del cambio climático
en el Mar Argentino**

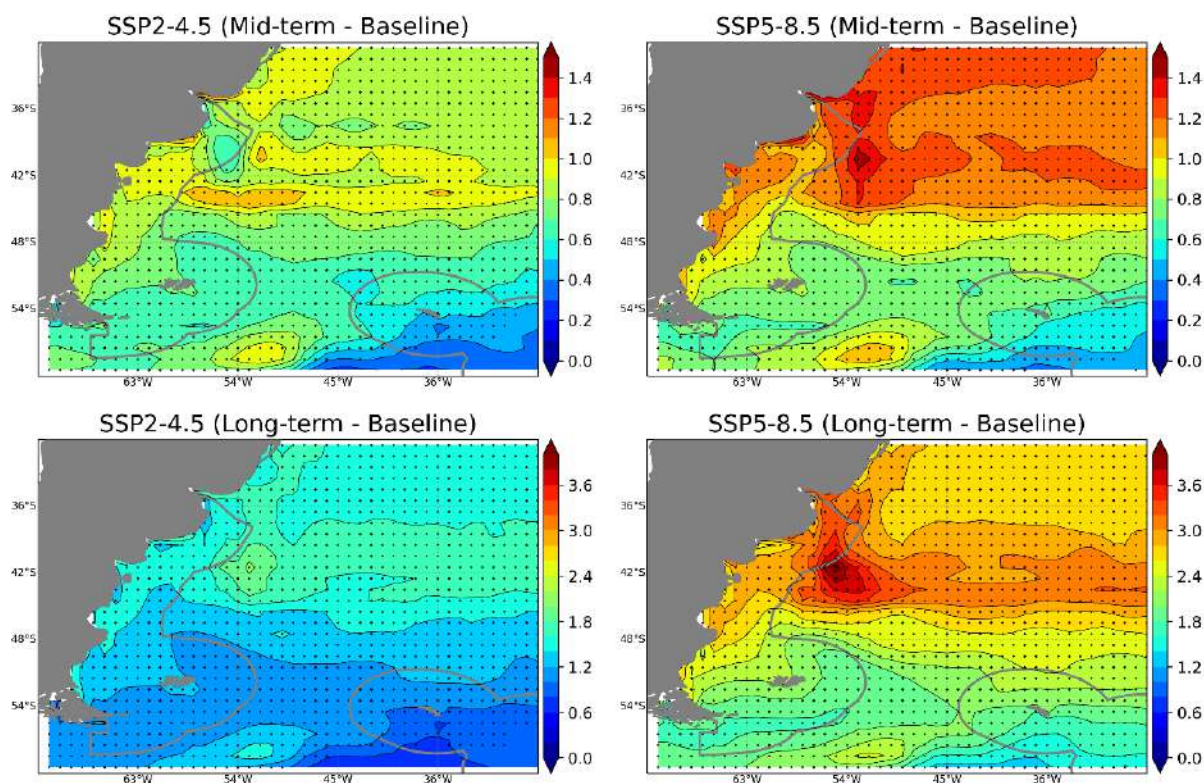
RESULTADOS II: Proyecciones del cambio climático en el Mar Argentino

9. Temperatura superficial del mar (SST)

Las proyecciones climáticas analizadas prevén un aumento de la temperatura superficial del mar en toda el área de estudio durante las próximas décadas. Los cambios máximos proyectados (SSP5-8.5 para el período 2081-2100) se identifican en la plataforma norte de Argentina y en la región cercana al Río de la Plata y alcanzan ~ 3.2 °C. En la región de la Confluencia Brasil-Malvinas, se proyecta un aumento de hasta ~ 4 °C. Si se considera el aumento ya observado en los últimos 40 años, el aumento total de la temperatura superficial del mar en esta región será de $\sim 7,2$ °C. Análogamente, las aguas de la plataforma del sur de Brasil experimentarían un aumento total de alrededor de 5 °C, considerando el aumento de ~ 2.4 °C que experimentaron durante las últimas décadas.

Al norte de 42°S , el aumento de la SST proyectada sobre la plataforma es de ~ 2.8 – 3.4 °C, mientras que entre 42 – 48°S los aumentos alcanzan valores de ~ 2.6 – 2.8 °C. En los alrededores de TDF, Isla de los Estados, y Banco de Burdwood los aumentos proyectados alcanzan valores de ~ 1.8 °C, lo que supera los valores asociados a variaciones estacionales en esta región durante las últimas décadas, que son menores a 1 °C. Los resultados fueron robustos en todo el Mar Argentino y para todos los escenarios analizados.

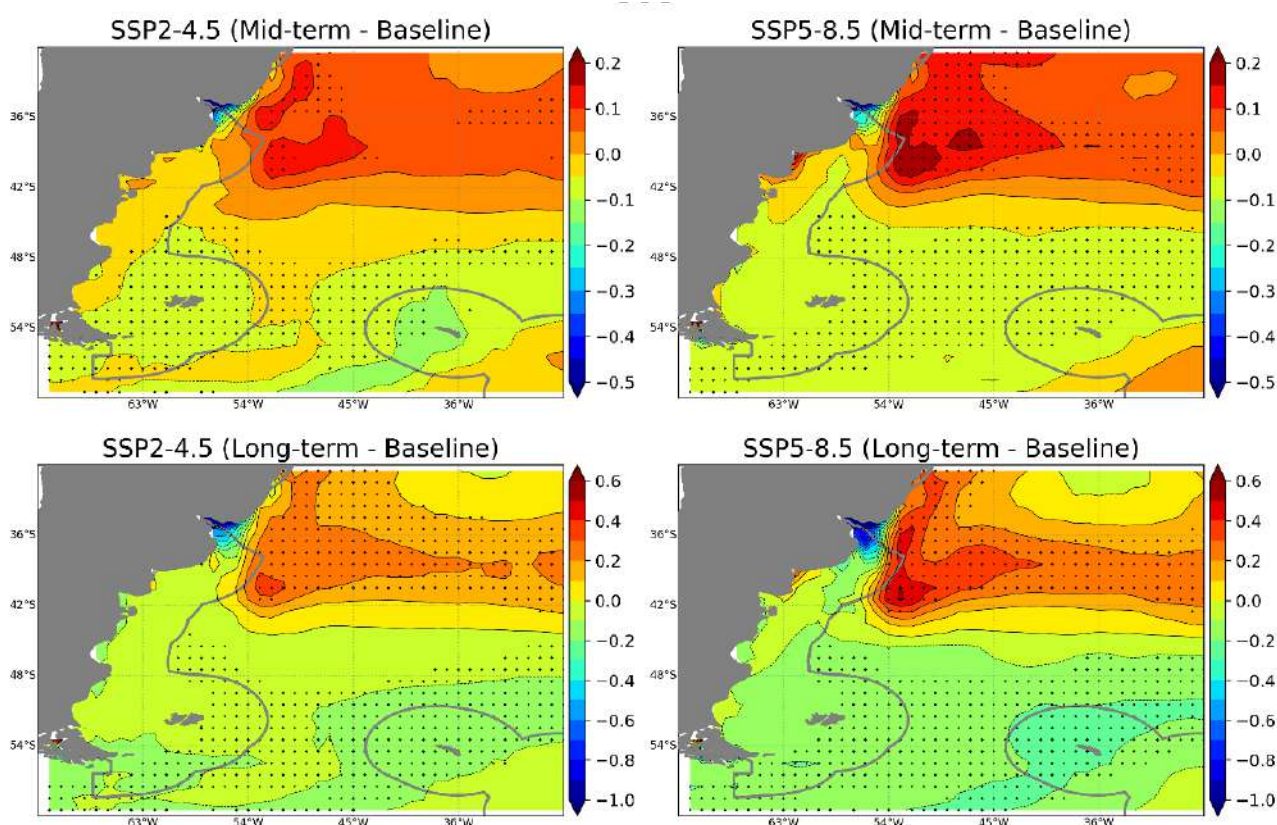
Figura 18. Temperatura de la superficie del mar (SST) para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Las figuras evidencian la diferencia entre la SST de las proyecciones futuras [Long-term (2081-2100) y Mid-term (2041-2060)] menos el periodo observado de baseline (1994-2015). Los puntos destacan las áreas con resultados robustos.



10. Salinidad superficial del mar (SSS)

Los mayores aumentos de salinidad superficial (SSS) proyectados se registran en la corriente de Brasil y en la Confluencia Brasil-Malvinas. Estos resultados están asociados a los valores máximos de temperatura superficial del mar proyectados para fines de siglo según el SSP5-8.5. Los datos son robustos en aguas internacionales al sur de los 48°S y al norte de los 42°S, y en aguas de la plataforma al este de las islas Malvinas, Banco Burdwood y el sur de la ZEE argentina.

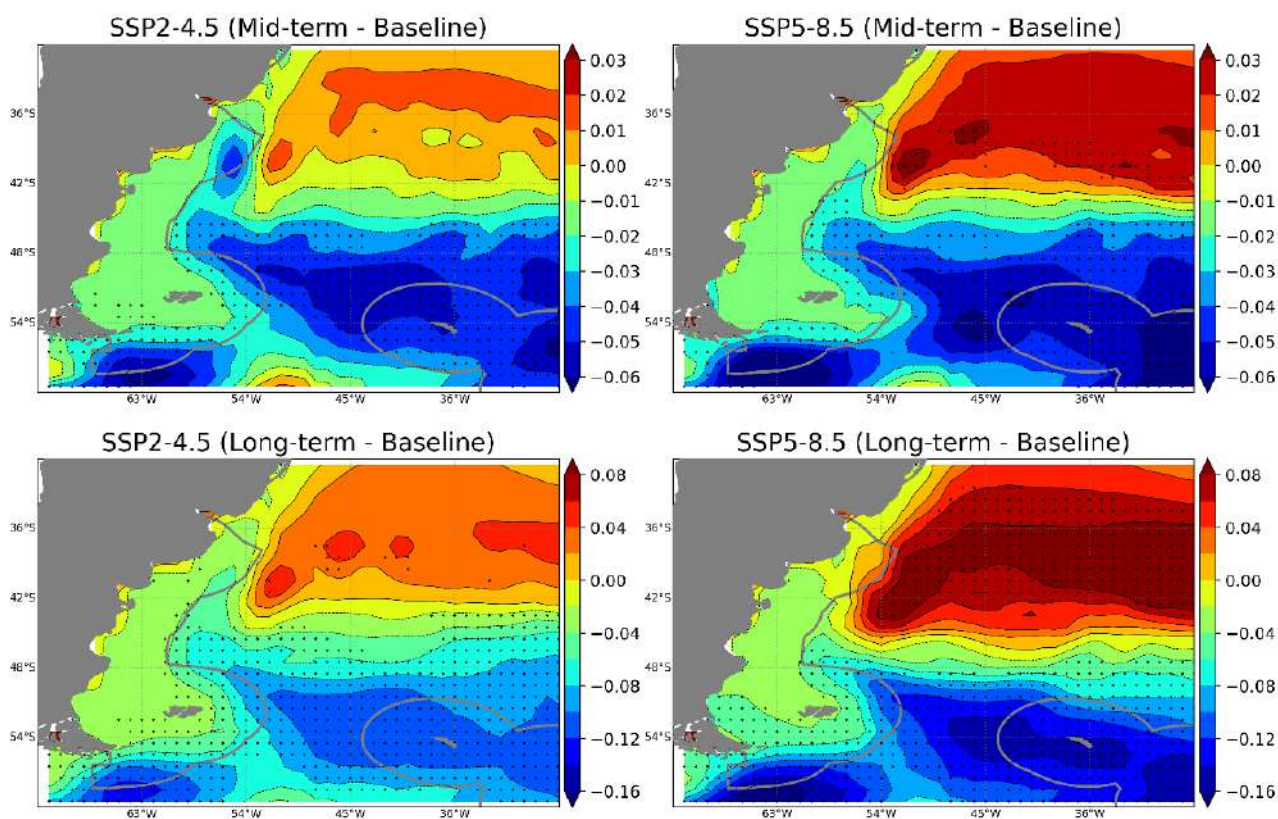
Figura 19. Salinidad superficial del mar (SSS) para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Las figuras evidencian la diferencia entre la SSS de las proyecciones futuras [Long-term (2081-2100) y Mid-term (2041-2060)] menos el periodo observado de baseline (1994-2015). Los puntos destacan las áreas con resultados robustos.



11. Altura del nivel del mar (SSH)

Las proyecciones de la altura de la superficie del mar mostraron un aumento sólo en áreas bien costeras, mientras que en el resto de la región se observa una disminución, probablemente asociada a cambios en los vientos de la región. Se requiere considerar que los resultados fueron poco robustos excepto al sur de los 50°S y fuera de la plataforma continental para el período 2081-2100 (Figura 20).

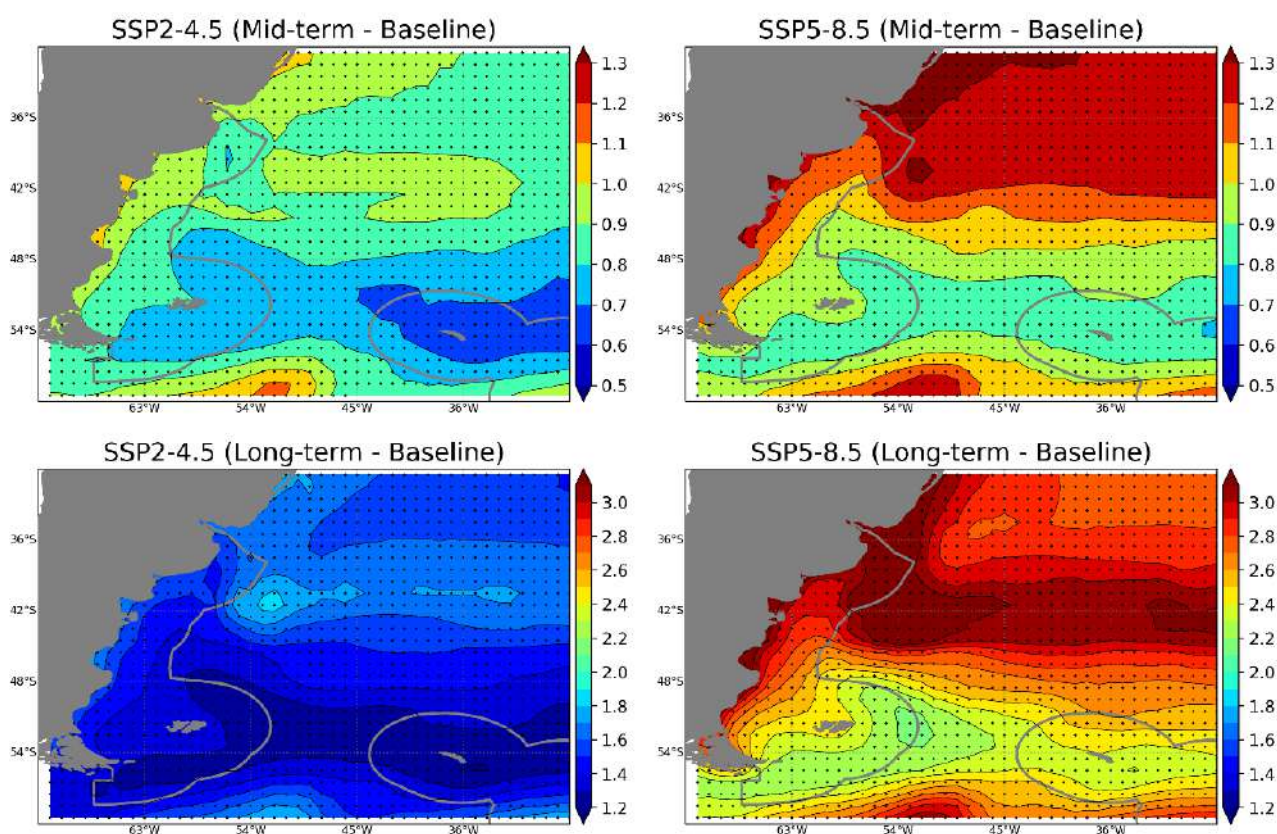
Figura 20. Altura del nivel del mar (SSH, en metros) para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Las figuras evidencian la diferencia entre la SST de las proyecciones futuras [Long-term (2081-2100) y Mid-term (2041-2060)] menos el periodo observado de baseline (1994-2015). Los puntos destacan las áreas con resultados robustos.



12. Temperatura del aire a 2 m (T2M)

Durante las próximas décadas, se esperaría un aumento de la temperatura del aire a 2 m sobre la superficie del mar (T2M) en toda el área de estudio, según los escenarios climáticos analizados (Figura 21). Los valores máximos se destacan desde la plataforma del sur de Brasil, Uruguay, Río de la Plata y la costa argentina hasta 48°S, con un aumento de la temperatura de más de 3 °C hacia fin de siglo bajo el escenario de mayores emisiones. En la región de la Confluencia Brasil-Malvinas, se espera un aumento de hasta ~3.8 °C hacia fines de siglo, y un aumento total de ~5.6 °C si se considera el aumento ya observado en los últimos 40 años. El aumento de la T2M cerca de la región de TDF, Isla de los Estados, y Banco de Burdwood alcanza valores de ~2.2 °C, lo que supera los valores asociados a la variabilidad estacional en esta región durante las últimas décadas, de ~1.5 °C.

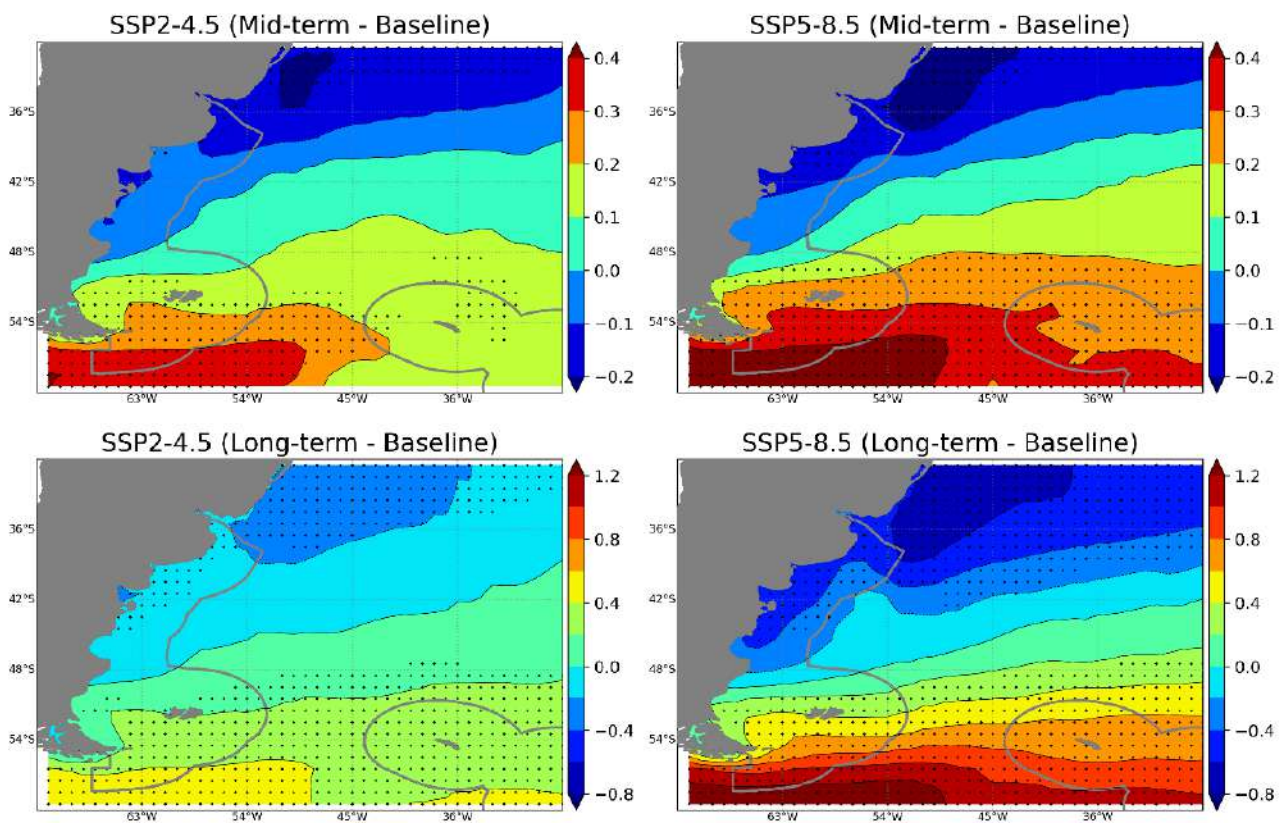
Figura 21. Temperatura de la atmósfera a 2 m de la superficie del mar (T2M) para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Las figuras evidencian la diferencia entre la T2M de las proyecciones futuras [Long-term (2081-2100) y Mid-term (2041-2060)] menos el periodo observado de baseline (1994-2015). Los puntos destacan las áreas donde los resultados son robustos.



13. Viento zonal (U10M, positivo de oeste a este)

Las proyecciones del viento zonal sugieren un posible fortalecimiento al sur de los 48°S, con resultados robustos tanto en la plataforma continental como en aguas internacionales. En contraste, se observa una disminución de los vientos al norte de los 42°S, donde los resultados son robustos en la plataforma y en aguas internacionales únicamente en las proyecciones a largo plazo.

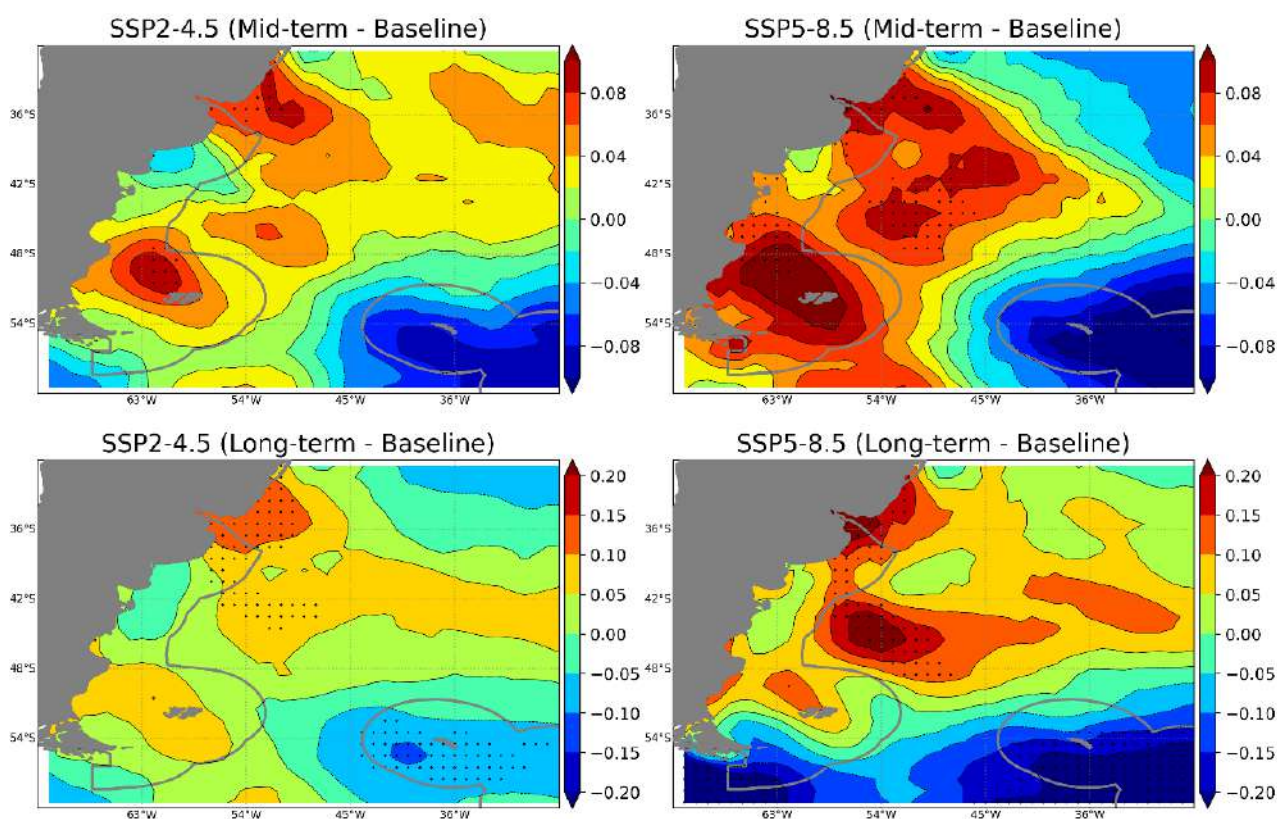
Figura 22. Viento zonal a 10 m de la superficie del mar (U) para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Las figuras evidencian la diferencia entre la U de las proyecciones futuras [Long-term (2081-2100) y Mid-term (2041-2060)] menos el periodo observado de baseline (1994-2015). Los puntos destacan las áreas con resultados robustos.



14. Viento meridional (V10M, positivo de sur a norte)

Las proyecciones del viento meridional son, en términos generales, poco robustas. Sólo se proyectan algunos cambios robustos, como una disminución en la plataforma media y en la zona del Río de la Plata (Figura 23). Vale recordar que el viento meridional es negativo en toda la plataforma argentina, es decir, va de norte a sur). También se observa un fortalecimiento de los vientos en aguas de las Georgias del Sur, consistente con el fortalecimiento de los vientos zonales en el área.

Figura 23. Viento meridional a 10 m de la superficie del mar (V) para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Las figuras evidencian la diferencia entre la V de las proyecciones futuras [Long-term (2081-2100) y Mid-term (2041-2060)] menos el periodo observado de baseline (1994-2015). Los puntos destacan las áreas con resultados robustos.





RESULTADOS III:

**Exposición observada y proyectada
del cambio climático en las
áreas marinas protegidas de la Argentina**

RESULTADOS III: **Exposición observada y proyectada del cambio climático en las áreas marinas protegidas de la Argentina**

15. Temperatura superficial del mar (SST)

Al analizar los datos de tendencia de la temperatura superficial del mar con respecto a las AMP, se identifica un aumento significativo del promedio anual en las AMP al norte de los 48° S (Figura 24). Las AMP con mayor tendencia en las últimas cuatro décadas fueron las áreas protegidas costero-marinas de la provincia de Buenos Aires, seguidas por las de la provincia de Chubut (Tabla 3).

Figura 24. Cambios observados en la temperatura superficial del mar. (a) Tendencia, en °C/década; (b) Variabilidad total (°C); (c) Variabilidad sin ciclo estacional (°C).

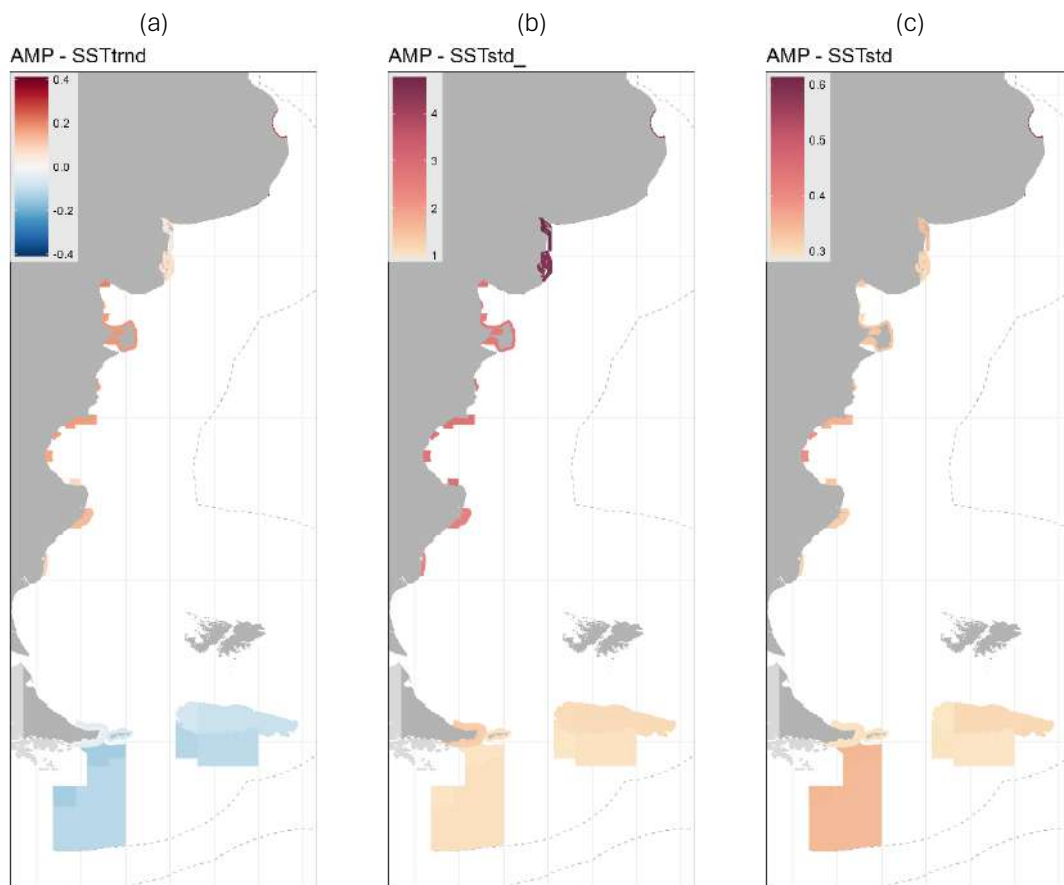


Tabla 3. Temperatura superficial del mar: tendencia (en °C/década) y variabilidad (en °C) observadas en las AMP de Argentina. Se destacan en naranja y celeste las AMP con las mayores y menores tendencias observadas, respectivamente. Los campos Celdas y NA se refieren al número de celdas con y sin datos dentro del AMP, respectivamente.

ÁREA MARINA PROTEGIDA - PROVINCIA	Celdas	NA	Tendencia	Variabilidad	
				No estacional	Total
Centinela del Mar - Buenos Aires	1	0	0.41	0.61	3.63
Restinga del Faro - Buenos Aires	1	0	0.40	0.61	3.69
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	7	3	0.30	0.57	4.61
Rincón de Ajó - Buenos Aires	3	2	0.29	0.58	4.34
Arroyo Zabala - Buenos Aires	3	2	0.27	0.43	3.63
Bahía de San Antonio - Río Negro	4	1	0.20	0.32	2.81
Península Valdés - Chubut	25	5	0.18	0.33	2.62
Punta Tombo - Chubut	4	2	0.18	0.33	2.86
Patagonia Austral - Chubut	10	2	0.18	0.35	2.80
Puerto Lobos - Río Negro	5	2	0.17	0.30	2.55
Punta León - Chubut	1	0	0.17	0.32	2.85
Rocas Coloradas - Chubut	5	1	0.17	0.39	2.79
Patagonia Azul - Chubut	11	2	0.17	0.35	2.77
Islote Lobos - Río Negro	4	2	0.16	0.30	2.68
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	5	2	0.16	0.39	2.75
Caleta de Los Loros, P. Salado y P. Mejillón - Río Negro	4	1	0.16	0.30	2.82
Punta Bermeja - Río Negro	1	0	0.15	0.31	3.31
Yaganes (RNM y RNME) - Mar Argentino	42	0	-0.14	0.35	0.99
Isla Pingüino - Santa Cruz	12	1	0.13	0.32	2.46
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	25	0	-0.12	0.29	0.98
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	58	0	-0.11	0.29	1.03
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	150	0	-0.11	0.34	1.07
Makenke - Santa Cruz	5	1	0.10	0.31	2.42
Namuncurá Banco Burdwood I (PNM) - Mar Argentino	78	0	-0.09	0.31	1.14
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	0.09	0.34	2.82
Pehuén-Co, Monte Hermoso - Buenos Aires	4	2	0.09	0.32	4.75
Monte Loayza - Santa Cruz	6	3	0.08	0.33	2.80
Namuncurá Banco Burdwood I (RNM) - Mar Argentino	24	0	-0.07	0.29	1.12
Bahía San Blas - Buenos Aires	14	2	0.07	0.31	4.50
Península Mitre (Isla de los Estados) - Tierra del Fuego	12	0	-0.07	0.30	1.06
Península Mitre (RPUM) - Tierra del Fuego	23	1	-0.04	0.30	1.31
Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde - Buenos Aires	10	4	0.04	0.34	4.77
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	23	6	-0.02	0.29	1.34
Punta Marqués - Chubut	1	1	sin datos	sin datos	sin datos

La variabilidad total de la SST está dominada por el ciclo estacional y es mayor en las AMP del norte del Mar Argentino (Tabla 3). Sin embargo, al retirar la componente estacional, la variabilidad no presenta un patrón latitudinal claro y se destaca Yaganes como una de las áreas con mayor variabilidad (Tabla 4B).

En cuanto a las proyecciones bajo distintos escenarios climáticos futuros, se espera un aumento de la SST en todas las AMP del Mar Argentino para mediados y finales de siglo en comparación con el período histórico de referencia (Figura 25). El rango de aumentos de temperatura varía entre 0.6 °C y 3.6 °C dependiendo del escenario y el período de tiempo analizado. Las AMP más afectadas, en promedio, se ubican mayoritariamente en la provincia de Buenos Aires, además de Bahía San Antonio en el golfo San Matías y de Patagonia Azul, Patagonia Austral y Monte Loayza en el golfo San Jorge (Tabla 3).

Figura 25. Cambios en la temperatura superficial del mar bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP4-4.5 y SSP5-8.5) a mediano plazo (2041-2060) y largo plazo (2081-2100), calculados como la diferencia entre el período proyectado y el histórico (1994-2015). (a) y (b) Diferencias para el escenario SSP4-4.5 en el mediano y largo plazo respectivamente; (c) y (d) diferencias para el escenario SSP5-8.5 en el mediano y largo plazo. Notar la diferencia de escala en los mapas, lo cual indica que el patrón de cambio no varía, pero sí la intensidad.

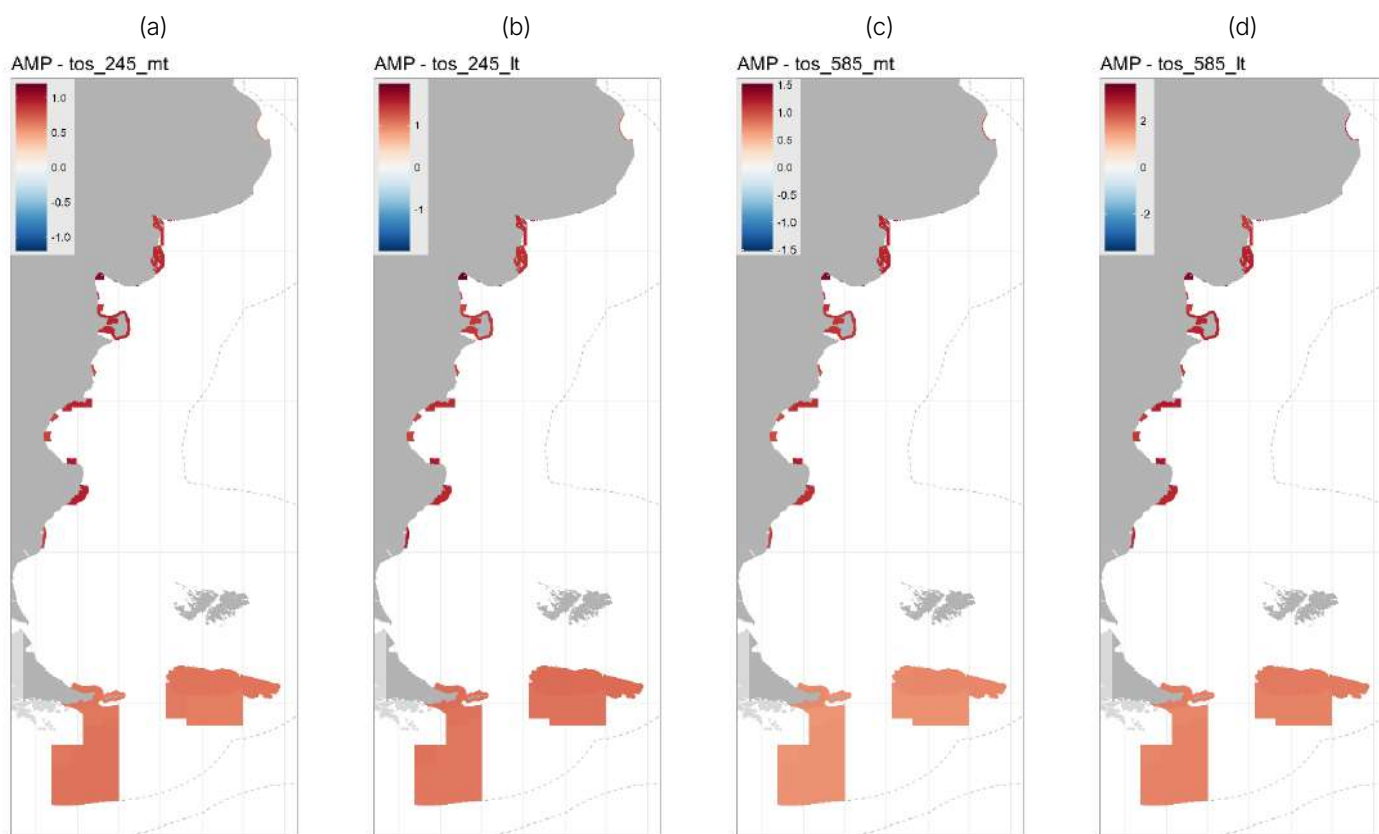


Tabla 4. Temperatura superficial del mar: Diferencias proyectadas (en °C) bajo distintos escenarios de cambio climático para los períodos 2041-2060 y 2081-2100. Se destacan en naranja y celeste las AMP con los mayores y menores cambios proyectados, respectivamente, para fines de siglo bajo el escenario más pesimista. Los campos Celdas y NA se refieren al número de celdas con y sin datos dentro del AMP, respectivamente.

ÁREA MARINA PROTEGIDA - PROVINCIA	Celdas	NA	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
			2041 2060	2081 2100	2041 2060	2081 2100
Arroyo Zabala - Buenos Aires	1	0	1.20	1.98	1.52	3.59
Bahía de San Antonio - Río Negro	1	0	1.10	1.97	1.41	3.28
Centinela del Mar - Buenos Aires	1	0	1.08	1.67	1.36	3.15
Restinga del Faro - Buenos Aires	1	0	1.08	1.67	1.36	3.15
Caleta de Los Loros, P. Salado y P. Mejillón - Río Negro	2	0	1.00	1.58	1.26	3.01
Rincón de Ajó - Buenos Aires	1	0	0.62	1.23	1.06	2.95
Monte Loayza - Santa Cruz	4	1	0.96	1.57	1.19	2.93
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	2	0	0.65	1.25	1.06	2.88
Patagonia Austral - Chubut	5	0	0.94	1.52	1.15	2.87
Patagonia Azul - Chubut	5	0	0.93	1.50	1.14	2.86
Punta Bermeja - Río Negro	1	0	0.94	1.47	1.14	2.85
Punta León - Chubut	1	0	0.92	1.45	1.12	2.85
Bahía San Blas - Buenos Aires	2	0	0.92	1.48	1.18	2.81
Isla Pingüino - Santa Cruz	4	0	0.94	1.53	1.13	2.78
Península Valdés - Chubut	5	0	0.92	1.43	1.11	2.78
Makenke - Santa Cruz	1	0	0.84	1.58	1.05	2.69
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	3	2	0.83	1.38	1.01	2.60
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	0.83	1.38	1.01	2.60
Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde - Buenos Aires	2	0	0.89	1.52	1.18	2.60
Pehuén-Co, Monte Hermoso - Buenos Aires	4	0	0.88	1.50	1.16	2.60
Rocas Coloradas - Chubut	1	0	0.83	1.37	1.01	2.59
Punta Tombo - Chubut	2	0	0.83	1.35	1.01	2.59
Islote Lobos - Río Negro	1	0	0.88	1.37	1.13	2.59
Puerto Lobos - Río Negro	2	0	0.88	1.37	1.13	2.59
Namuncurá Banco Burdwood I (RNM) - Mar Argentino	4	0	0.65	1.12	0.73	1.88
Namuncurá Banco Burdwood I (PNM) - Mar Argentino	10	0	0.65	1.12	0.74	1.88
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	6	0	0.65	1.12	0.73	1.87
Península Mitre (RPUM) - Tierra del Fuego	4	0	0.65	1.11	0.73	1.85
Península Mitre (Isla de los Estados) - Tierra del Fuego	2	0	0.63	1.10	0.71	1.84
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	4	0	0.63	1.08	0.70	1.80
Yaganes (RNM y RNME) - Mar Argentino	15	0	0.66	1.06	0.69	1.80
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	8	0	0.61	1.07	0.70	1.78
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	5	0	0.63	1.09	0.68	1.76
Punta Marqués - Chubut	1	1	NA	NA	NA	NA

16. Altura del nivel del mar

El análisis de las tendencias observadas en la altura del nivel del mar en las AMP, se identifica un aumento del promedio anual en todas las AMP del Mar Argentino, con un valor mínimo de 0.02 m/década y un máximo de 0.05 m/década. Las AMP con mayor tendencia en las últimas cuatro décadas fueron las áreas protegidas marinas del sur de la provincia de Buenos Aires, del sur de Chubut y del norte de Santa Cruz (Figura 26A).

En cuanto a la variabilidad total del nivel del mar (Figura 26B), se destaca el Parque Nacional Marino y Reserva Nacional Marina Estricta Yaganes, con una variabilidad total de 0.13 metros (Tabla 5).

Figura 26. Cambios observados en la altura del nivel del mar. (a): Tendencia, en metros/década. (b): Variabilidad total, en metros.

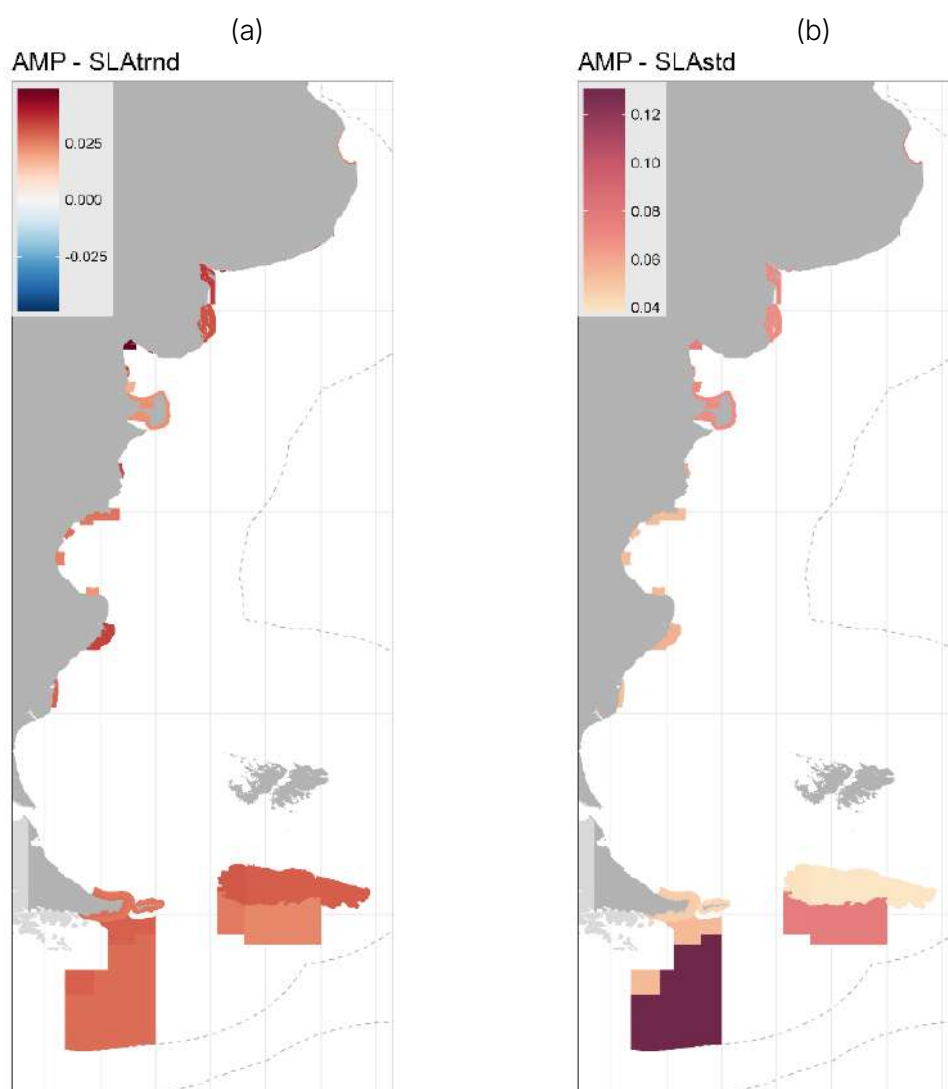


Tabla 6. Lista de las 10 AMP con las mayores tendencias observadas de aumento en la altura del nivel del mar, en metros por década. Los campos Celdas y NA se refieren al número de celdas con y sin datos dentro del AMP, respectivamente.

ÁREA MARINA PROTEGIDA - PROVINCIA	Celdas	NA	Tendencia (m/década)
Bahía de San Antonio - Río Negro	5	2	0.05
Caleta de Los Loros, Pozo Salado y Punta Mejillón - Río Negro	3	0	0.04
Pehuén Co - Monte Hermoso - Buenos Aires	5	3	0.04
Punta León - Chubut	1	0	0.04
Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde - Buenos Aires	13	1	0.04
Punta Tombo - Chubut	3	0	0.03
Restinga del Faro - Buenos Aires	1	0	0.03
Centinela del Mar - Buenos Aires	2	1	0.03
PIM Isla Pingüino - Santa Cruz	11	1	0.03
Islote Lobos - Santa Cruz	2	0	0.03

Tabla 7. Lista de las 10 AMP con mayor variabilidad observada en el nivel del mar. Los campos Celdas y NA se refieren al número de celdas con y sin datos dentro del AMP, respectivamente.

ÁREA MARINA PROTEGIDA - PROVINCIA	Celdas	NA	Variabilidad total (m)
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	143	0	0.13
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	22	0	0.08
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	57	0	0.08
Bahía de San Antonio - Río Negro	5	2	0.08
Rincón de Ajó - Buenos Aires	2	0	0.08
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	10	4	0.08
Restinga del Faro - Buenos Aires	1	0	0.07
Centinela del Mar - Buenos Aires	2	1	0.07
Islote Lobos - Río Negro	2	0	0.07
Bahía San Blas - Buenos Aires	14	2	0.07

Las proyecciones bajo distintos escenarios de mitigación en el Atlántico Sudoccidental muestran una disminución del nivel del mar en prácticamente todas las AMP del Mar Argentino (Figura 27), lo que es consistente con las variaciones en los vientos que se vienen observando y su efecto en la circulación oceánica de la región. Los resultados son consistentes entre ambos escenarios evaluados, tanto a mediano como a largo plazo. Sin embargo, cabe destacar que la robustez entre modelos se mantiene únicamente en la región sur del Mar Argentino. El área más afectada según las proyecciones y los escenarios evaluados será Yaganes con una disminución de 0.12 metros a finales de siglo (Tabla 8).

Figura 27. Cambios en la altura del nivel del mar bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP4-4.5 y SSP5-8.5) a mediano plazo (2041-2060) y a largo plazo (2081-2100), calculados como la diferencia entre el período proyectado y el histórico (1994-2015). (a) y (b) Diferencias correspondientes al escenario SSP4-4.5 en el mediano y largo plazo; (c) y (d) Diferencias correspondientes al escenario SSP5-8.5 en el mediano y largo plazo respectivamente.

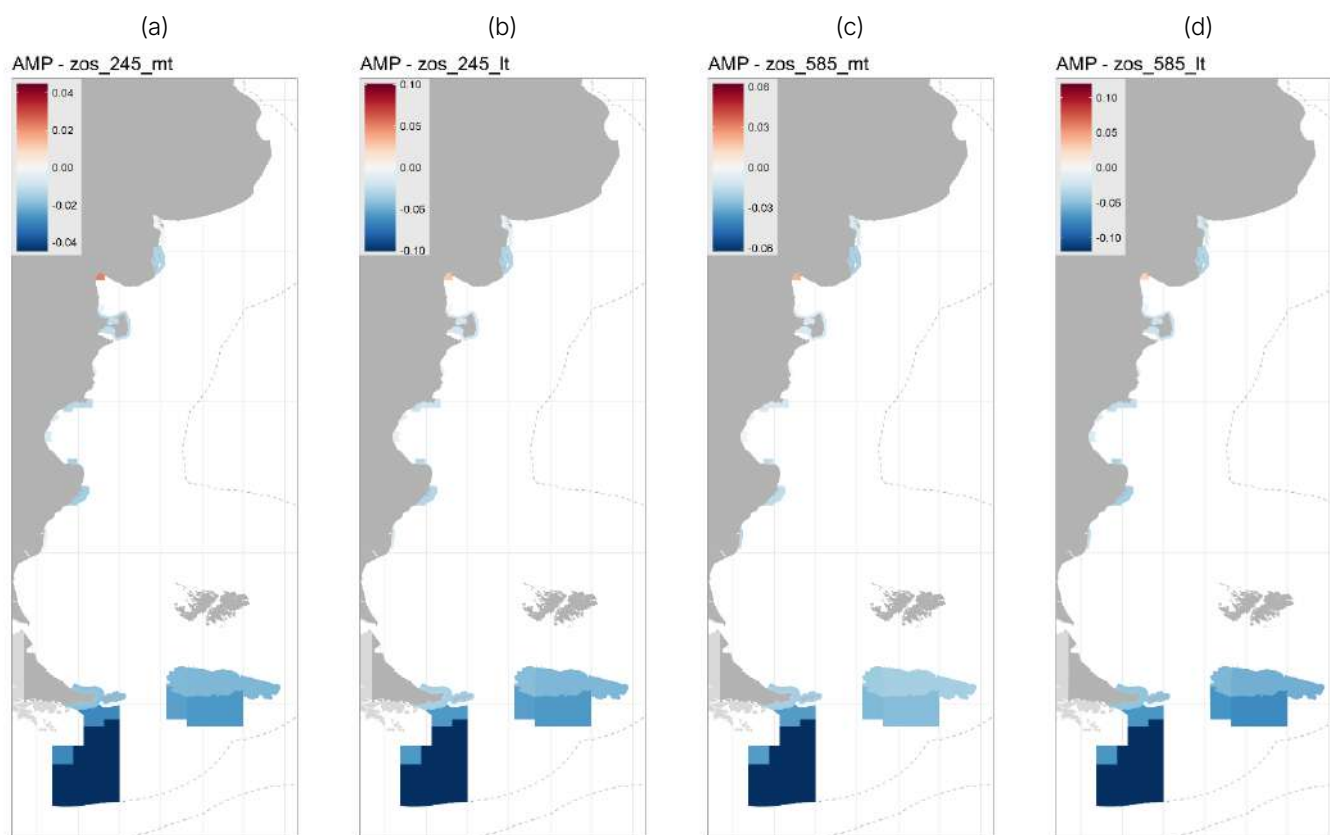


Tabla 8. Lista de las 10 AMP con mayores diferencias de nivel del mar proyectados bajo distintos escenarios de cambio climático para los períodos 2041-2060 y 2081-2100.

ÁREA MARINA PROTEGIDA - PROVINCIA	SSP5-8.5		SSP2-4.5	
	2041-2060	2081-2100	2041-2060	2081-2100
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	-0.06	-0.12	-0.04	-0.1
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	-0.03	-0.08	-0.03	-0.06
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	-0.03	-0.07	-0.02	-0.06
Yaganes (RNM y RNME) - Mar Argentino	-0.03	-0.07	-0.03	-0.06
Namuncurá Banco Burdwood I (PNM) - Mar Argentino	-0.02	-0.06	-0.02	-0.05
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	-0.02	-0.05	-0.02	-0.03
Península Mitre (RPUM) - Tierra del Fuego	-0.02	-0.05	-0.02	-0.03
Namuncurá Banco Burdwood I (RNM) - Mar Argentino	-0.02	-0.05	-0.02	-0.04
Península Mitre (Isla de los Estados) - Tierra del Fuego	-0.02	-0.05	-0.02	-0.04
Isla Pingüino - Santa Cruz	-0.02	-0.04	-0.02	-0.03

17. Temperatura del aire a 2 metros

La temperatura del aire a 2 metros observada en las últimas décadas muestra un comportamiento similar al de la temperatura superficial del mar (SST). La tendencia evidencia un aumento más pronunciado en las áreas marinas protegidas del norte del Mar Argentino (Figura 28, Tabla 9), particularmente en las AMP costeras de la provincia de Buenos Aires y en el norte del golfo San Jorge (Chubut).

La variabilidad total observada es considerablemente mayor en las AMP costeras que en las oceánicas, especialmente en la provincia de Buenos Aires. Al retirar el ciclo estacional, la variabilidad presenta una distribución más homogénea en todas las AMP del Mar Argentino, con valores algo más elevados en las ubicadas en el golfo San Jorge.

Figura 28. Cambios observados en la temperatura de aire a 2 metros. (a) Tendencia ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$). (b) Variabilidad total ($^{\circ}\text{C}$); (c) Variabilidad sin ciclo estacional ($^{\circ}\text{C}$).

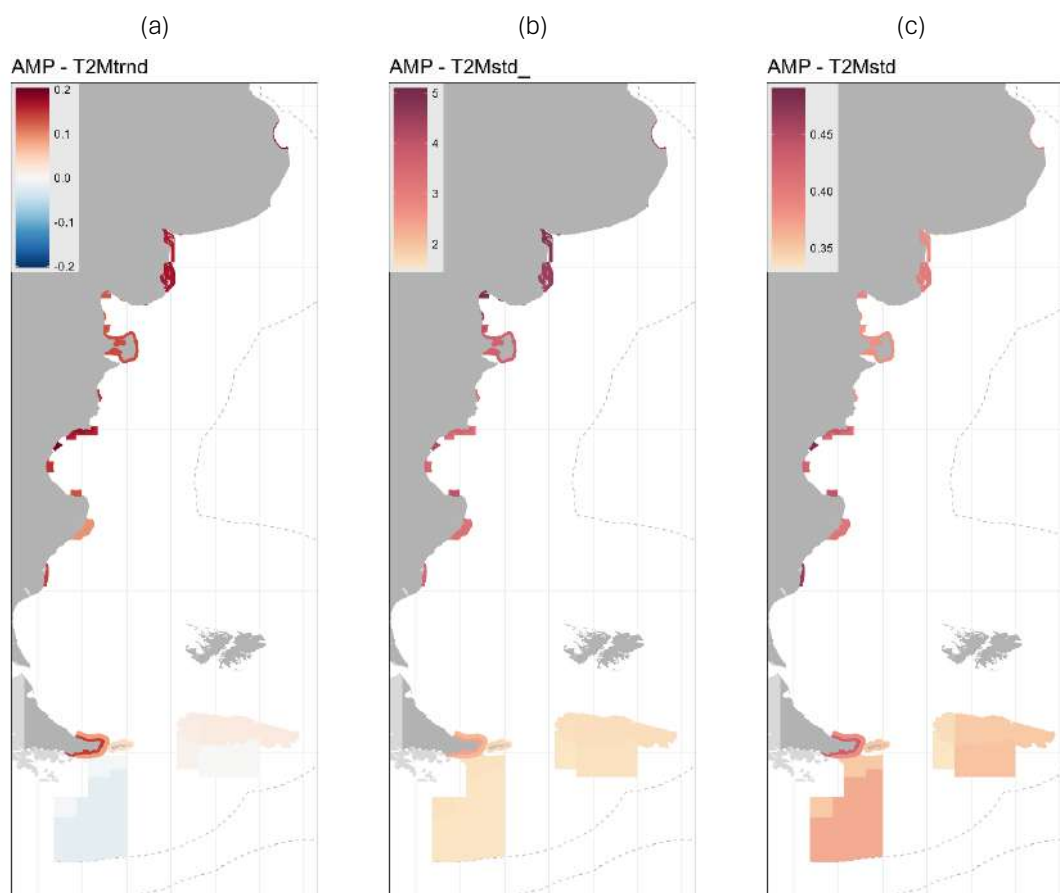


Tabla 9. Lista de las 10 AMP con mayores tendencias observadas de cambios de temperatura del aire a 2 metros. Los campos Celdas y NA se refieren al número de celdas con y sin datos dentro del AMP, respectivamente.

ÁREA MARINA PROTEGIDA - PROVINCIA	Celdas	NA	Tendencia (°C/década)
Rocas Coloradas - Chubut	143	0	0.13
Rincón de Ajó - Buenos Aires	22	0	0.08
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	57	0	0.08
Patagonia Austral - Chubut	5	2	0.08
Bahía San Blas - Buenos Aires	2	0	0.08
Pingüinos - Santa Cruz	10	4	0.08
Punta León - Chubut	1	0	0.07
Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde - Buenos Aires	2	1	0.07
Patagonia Azul - Chubut	2	0	0.07
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	14	2	0.07

Tabla 10. Lista de las 10 AMP con mayores variabilidades observadas de temperatura del aire a 2 metros. Variabilidad total (arriba) y Variabilidad sin ciclo estacional (abajo). Los campos Celdas y NA se refieren al número de celdas con y sin datos dentro del AMP, respectivamente.

ÁREA MARINA PROTEGIDA - PROVINCIA	Celdas	NA	Variabilidad total (°C)
Pehuén Co - Monte Hermoso - Buenos Aires	3	0	5.10
Bahía de San Antonio - Río Negro	5	0	4.94
Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde - Buenos Aires	12	0	4.84
Caleta de Los Loros, Pozo Salado y Punta Mejillón - Río Negro	2	0	4.74
Islote Lobos - Río Negro	2	0	4.63
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	8	0	4.52
Bahía San Blas - Buenos Aires	15	0	4.51
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	4.46
Rincón de Ajó - Buenos Aires	2	0	4.36
Arroyo Zabala - Buenos Aires	1	0	4.33

ÁREA MARINA PROTEGIDA - PROVINCIA	Celdas	NA	Variabilidad sin ciclo estacional
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	0.49
Rocas Coloradas - Chubut	3	0	0.48
Makenke - Santa Cruz	6	0	0.47
Monte Loayza - Santa Cruz	4	0	0.44
Patagonia Austral - Chubut	9	0	0.44
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	18	0	0.43
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	6	0	0.43
Punta Marqués - Chubut	1	0	0.42
Patagonia Azul - Chubut	13	0	0.42
Isla Pingüino - Santa Cruz	14	0	0.41

Las proyecciones de temperatura del aire a 2 metros del nivel del mar muestran un aumento en todas las áreas marinas protegidas de la región, consistente entre los distintos escenarios de mitigación considerados y tanto a mediano como a largo plazo (Figura 29). Las AMP más afectadas corresponden principalmente a las zonas costeras, donde en algunos casos se proyectan incrementos que superan los 3 °C hacia finales de siglo bajo un escenario sin medidas de mitigación (Tabla 11).

Figura 29. Cambios en la temperatura del aire a 2 metros, bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP4-4.5 y SSP5-8.5), a mediano plazo (2041-2060) y a largo plazo (2081-2100), calculados como la diferencia entre el período proyectado y el histórico (1994-2015). (a) y (b) Diferencias correspondientes al escenario SSP4-4.5 en el mediano y largo plazo; (c) y (d) Diferencias correspondientes al escenario SSP5-8.5 en el mediano y largo plazo respectivamente.

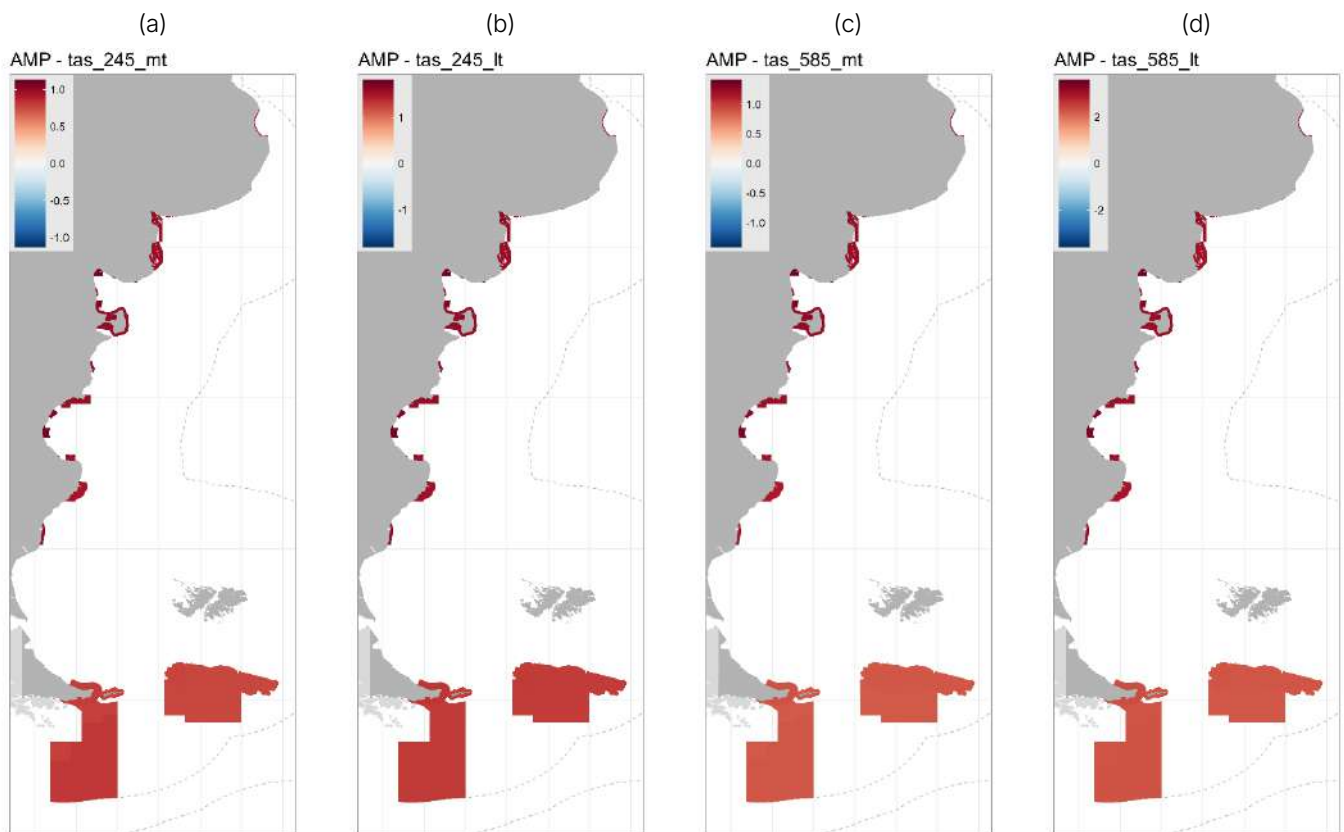


Tabla 11. Lista de las 10 AMP con mayores diferencias de temperatura del aire a 2 metros, proyectadas en distintos escenarios de cambio climático, para los períodos 2041-2060 y 2081-2100.

ÁREA MARINA PROTEGIDA - PROVINCIA	SSP5-8.5		SSP2-4.5	
	2041-2060	2081-2100	2041-2060	2081-2100
Punta Marqués - Chubut	1.41	3.58	1.13	1.81
Bahía de San Antonio - Río Negro	1.39	3.40	1.08	1.73
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	1.32	3.39	1.07	1.72
Rocas Coloradas - Chubut	1.30	3.32	1.05	1.68
Pingüinos - Santa Cruz	1.28	3.29	1.04	1.67
Islote Lobos - Río Negro	1.32	3.24	1.04	1.65
Puerto Lobos - Río Negro	1.32	3.24	1.04	1.65
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	1.27	3.24	0.95	1.58
Rincón de Ajó - Buenos Aires	1.24	3.21	0.91	1.55
Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde - Buenos Aires	1.25	3.13	0.99	1.62



RESULTADOS IV:

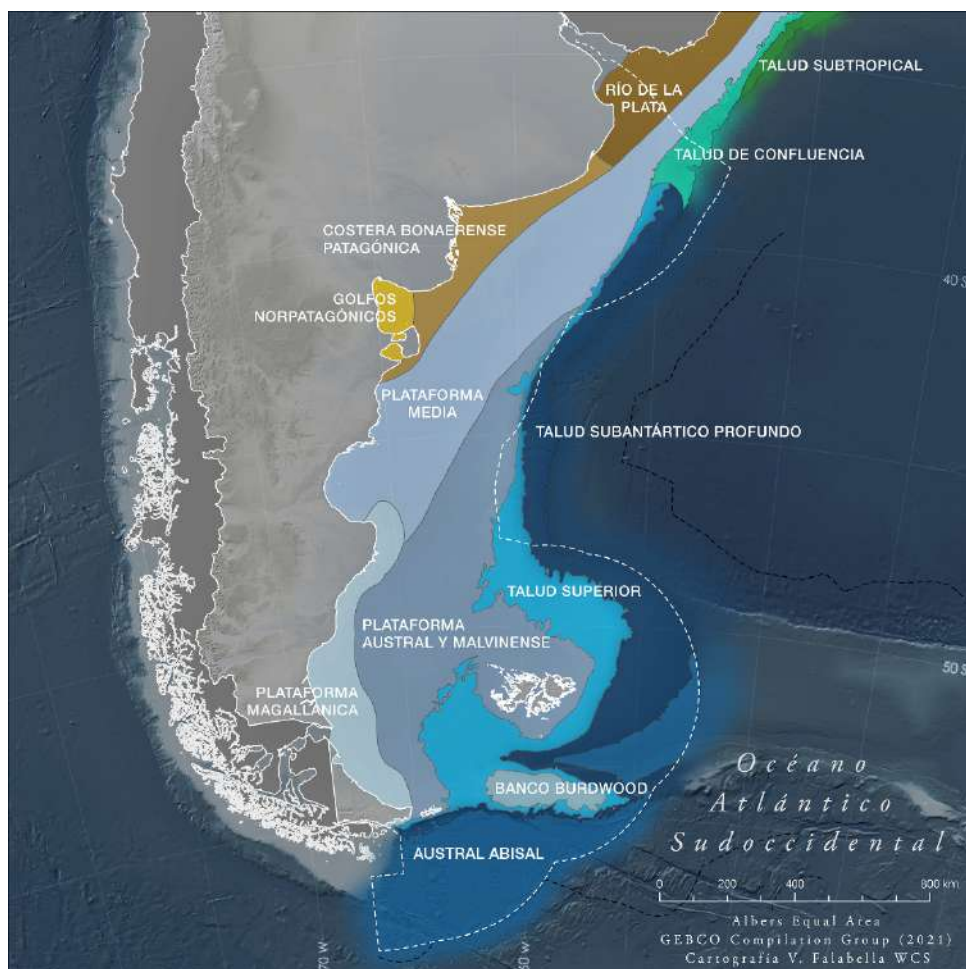
**Exposición observada y proyectada
del cambio climático en las
biorregiones del Mar Argentino**

RESULTADOS IV: **Exposición observada y proyectada del cambio climático en las biorregiones del Mar Argentino**

Las biorregiones del Mar Argentino (Figura 30, Falabella et al. 2023) representan una integración de las principales características oceanográficas, fisicoquímicas y biológicas del área, agrupadas en grandes zonas con cierto grado de homogeneidad. Estas abarcan extensiones que van desde más de 16.000 km² hasta casi 368.000 km²; por lo tanto, no existen limitaciones respecto del número de datos utilizados en las observaciones y/o proyecciones de este análisis, a diferencia de lo que ocurre con las áreas marinas protegidas (AMP), cuyas superficies son considerablemente menores.

En esta sección se presentan los resultados del análisis de los efectos del cambio climático en el contexto de las biorregiones del Mar Argentino. Se analizan las tendencias y proyecciones de temperatura superficial del mar, del nivel medio del mar y de la temperatura del aire a 2 metros del nivel del mar, promediados para cada biorregión. Se incluyen dos tablas que sintetizan la información presentada en los mapas.

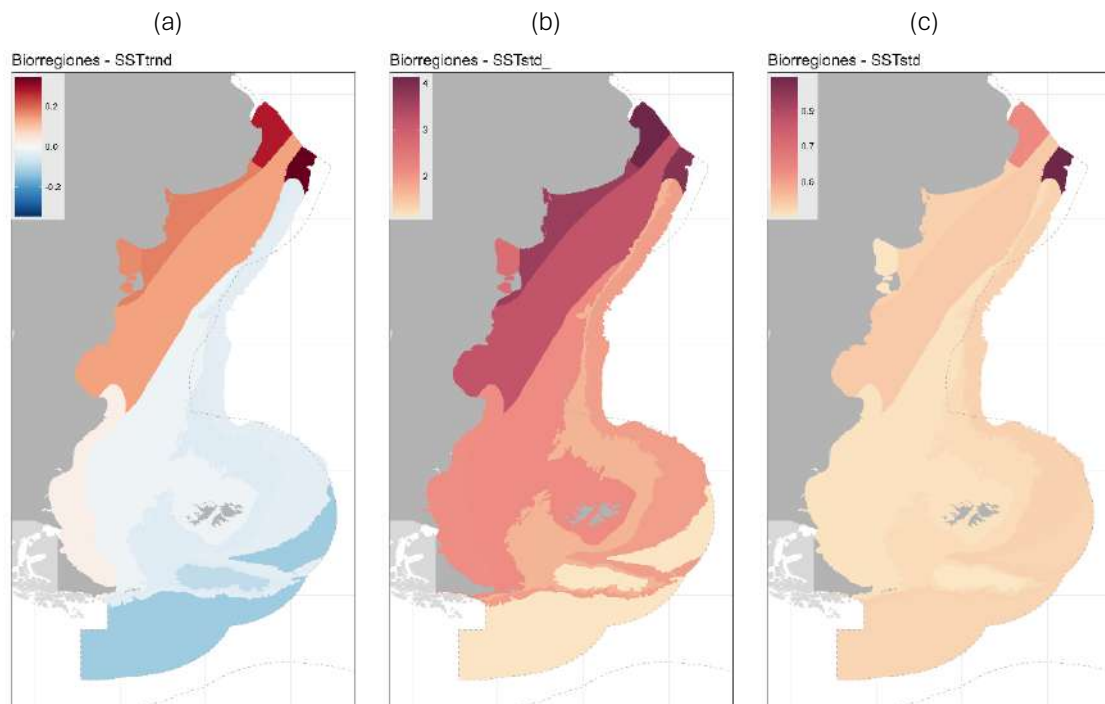
Figura 30. Biorregiones del Mar Argentino.



18. Temperatura superficial del mar (SST)

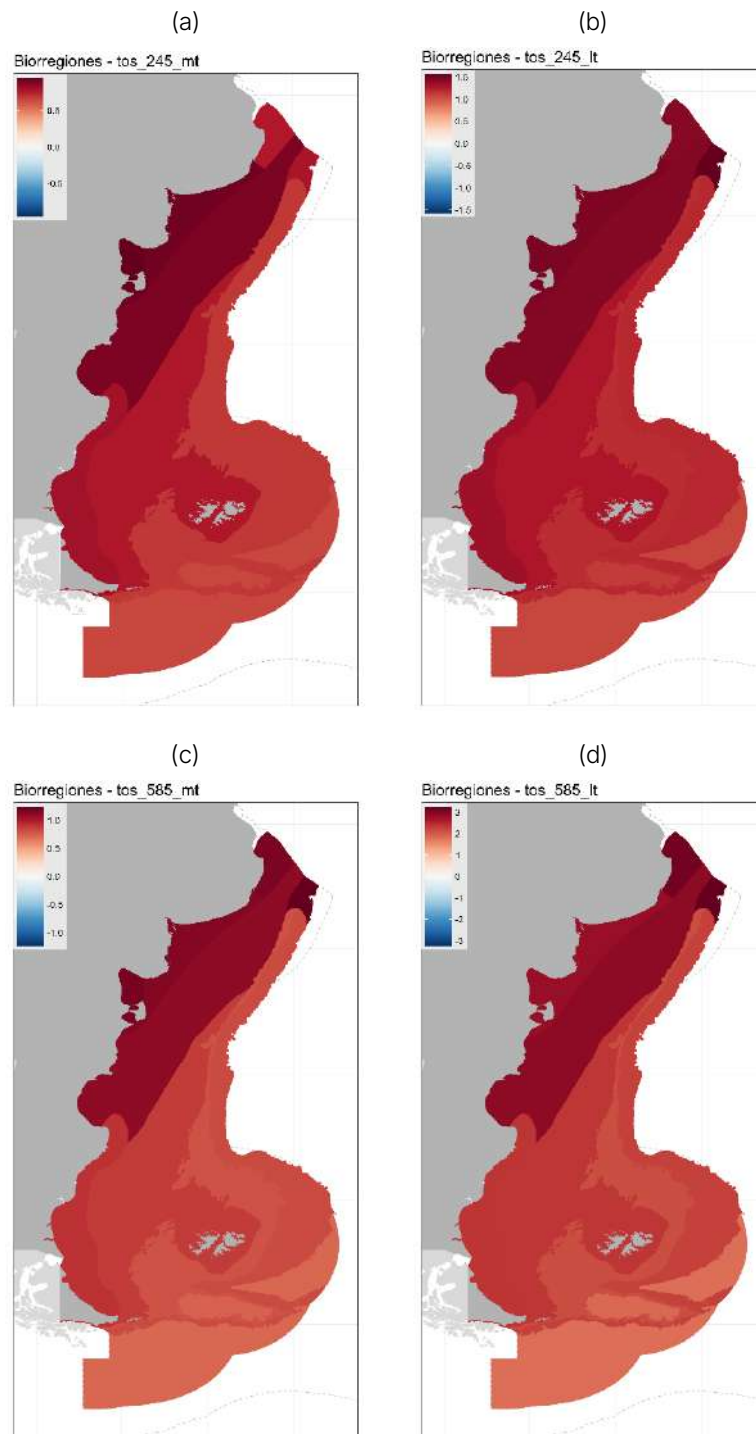
Como se espera, las tendencias observadas en la temperatura superficial del mar (SST) durante las últimas décadas muestran un calentamiento en las biorregiones del norte del Mar Argentino, con tasas máximas de hasta 0.35 °C por década en la biorregión del Talud de Confluencia y aproximadamente 0.28 °C por década en la del Río de la Plata (Figura 31, Tabla 12). En contraste, las biorregiones del sur presentan un leve enfriamiento, con valores que varían entre -0.02 °C por década en las plataformas Austral y Fueguina y -0.12 °C por década en la biorregión Subantártica Polar (Tabla 12). En cuanto a la variabilidad, los valores más altos se observan en las biorregiones influenciadas por el Río de la Plata y a lo largo de la plataforma continental, donde los ciclos estacionales son más marcados. La componente no estacional de la variabilidad es más uniforme entre biorregiones, con valores máximos de 1.09 °C y 0.57 °C en las biorregiones del Talud de Confluencia y del Río de la Plata, respectivamente (Tabla 12).

Figura 31. Cambios observados en la temperatura superficial del mar. (a) Tendencia (°C/década). (b) Variabilidad total (°C). (c) Variabilidad sin ciclo estacional (°C).



Las proyecciones de temperatura superficial del mar indican un calentamiento en todas las biorregiones del Mar Argentino bajo ambos escenarios de mitigación, tanto a mediano como a largo plazo. En todos los casos, los mayores incrementos se registran en las biorregiones del norte y en las de la plataforma (Figura 32), alcanzando valores máximos de hasta 3.26 °C en la biorregión del Talud de Confluencia hacia fines de siglo en un escenario sin medidas de mitigación (Tabla 13).

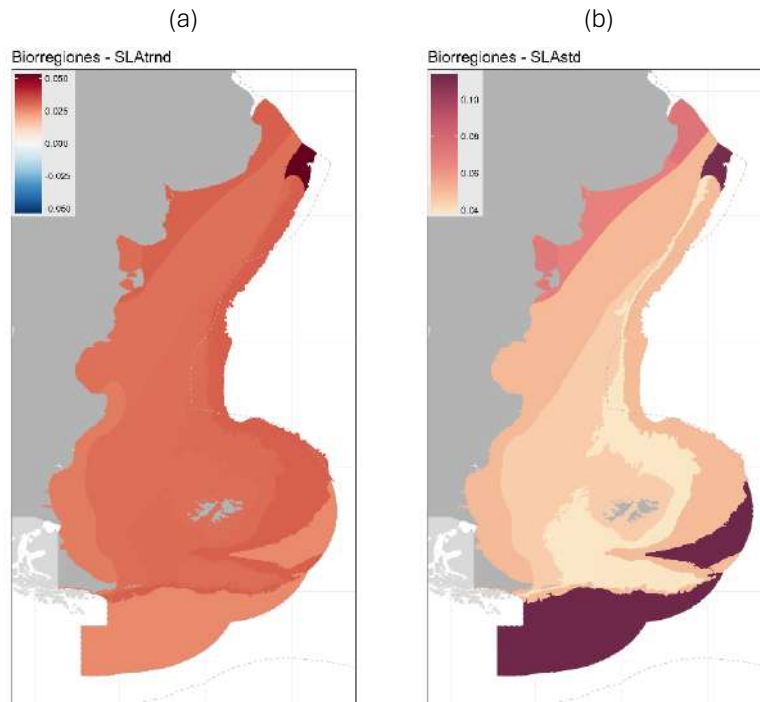
Figura 32. Cambios en la temperatura superficial del mar bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP4-4.5 y SSP5-8.5), a mediano (2041-2060) y largo plazo (2081-2100), calculados como la diferencia entre el período proyectado y el histórico (1994-2015). (a) y (b) Diferencias correspondientes al escenario SSP4-4.5 en el mediano y largo plazo; (c) y (d) Diferencias correspondientes al escenario SSP5-8.5 en el mediano y largo plazo, respectivamente.



19. Altura del nivel del mar (SLA)

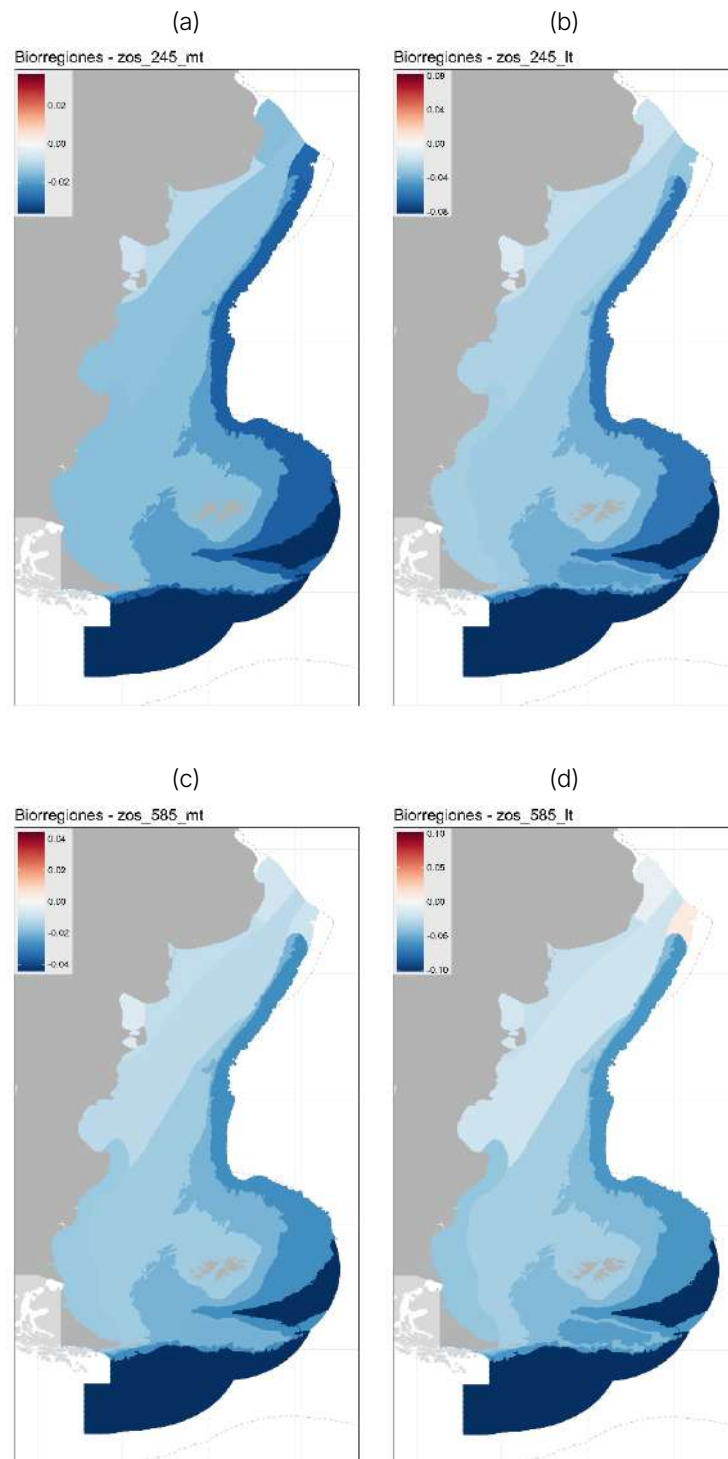
Las observaciones de las últimas décadas muestran un aumento del nivel del mar en todas las biorregiones del Mar Argentino, con un máximo de 0.05m/década en la biorregión del Talud de Confluencia (Figura 33A). En cuanto a la variabilidad, esta es más pronunciada en las biorregiones de mayor profundidad, destacándose los valores máximos en el Talud de Confluencia y en el Talud Subantártico Polar (Figura 33B).

Figura 33. Cambios observados en la altura del nivel del mar. a): Tendencia (metros/década). b): Variabilidad total (metros).



Las proyecciones bajo distintos escenarios de mitigación muestran una disminución del nivel del mar en todas las biorregiones del Mar Argentino, algo compatible con los cambios proyectados en la circulación oceanográfica general y los vientos en la región (Figura 34). Las proyecciones son poco robustas en los modelos en la zona de la plataforma y son más robustas en aguas del talud y en los alrededores de las islas Malvinas.

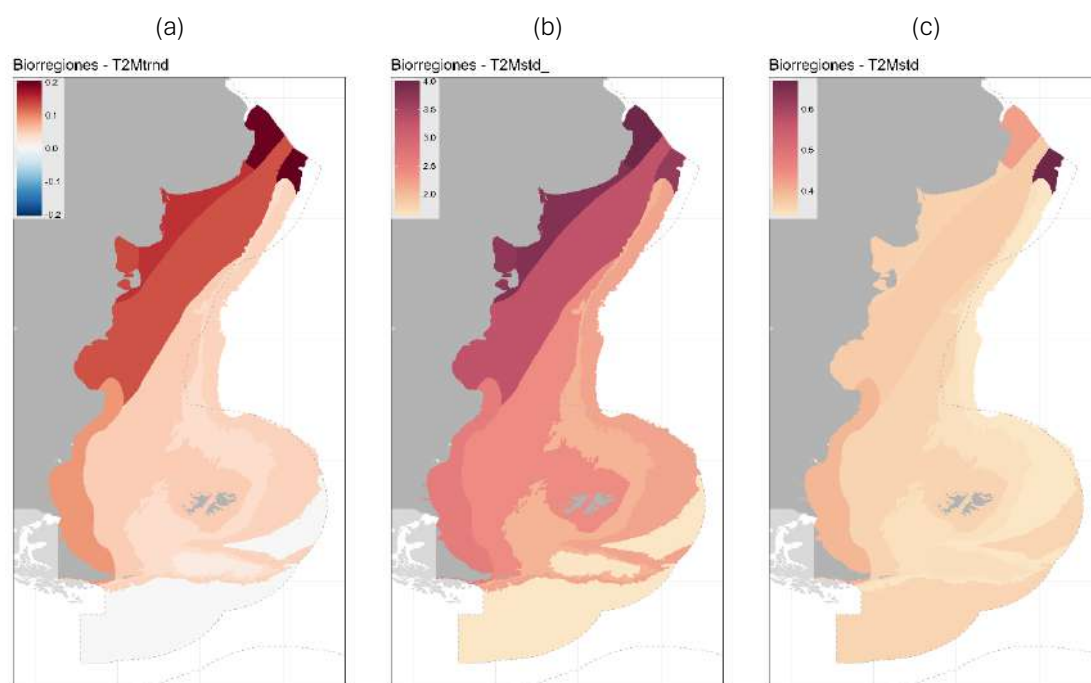
Figura 34. Cambios en la altura del nivel del mar bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP4-4.5 y SSP5-8.5), a mediano (2041-2060) y largo plazo (2081-2100), calculados como la diferencia entre el período proyectado y el histórico (1994-2015). (a) y (b) Diferencias correspondientes al escenario SSP4-4.5 en el mediano y largo plazo; (c) y (d) Diferencias correspondientes al escenario SSP5-8.5 en el mediano y largo plazo, respectivamente.



20. Temperatura del aire a 2 metros (T2M)

Las tendencias de la temperatura del aire a 2 metros del nivel del mar en las últimas décadas evidencian un aumento en todas las biorregiones del Mar Argentino, excepto en el Talud Subantártico, donde no se registran cambios significativos (Figura 35a). Los incrementos más marcados se observan en las biorregiones del norte y en la plataforma media (Tabla 12). De manera similar a lo observado en la temperatura superficial del mar, la variabilidad de la temperatura del aire a 2 metros es mayor en las biorregiones de la plataforma continental y del Talud de Confluencia, asociada principalmente al ciclo estacional, que constituye la fuente predominante de variabilidad (Figura 35b). La componente no estacional de la variabilidad, en cambio, presenta una distribución homogénea en todo el Mar Argentino, con un máximo en el Talud de Confluencia (Figura 35c).

Figura 135. Cambios observados en la temperatura de aire a 2 metros. (a) Tendencia ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$). (b) Variabilidad total ($^{\circ}\text{C}$). (c) Variabilidad sin ciclo estacional ($^{\circ}\text{C}$).



Por su lado, las proyecciones de temperatura del aire a 2 metros muestran un calentamiento en todas las biorregiones del Mar Argentino bajo ambos escenarios de mitigación, tanto a mediano como a largo plazo, consistente con los aumentos proyectados de la temperatura superficial del mar (Figura 36). En todos los casos, los aumentos de temperatura son mayores en las biorregiones del norte y en las de la plataforma y en el Talud de Confluencia.

Figura 36. Cambios en la temperatura de aire a 2 metros, bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP4-4.5 y SSP5-8.5) a mediano (2041-2060) y largo plazo (2081-2100), calculados como la diferencia entre el período proyectado y el histórico (1994-2015). (a) y (b) Diferencias para el escenario SSP4-4.5 en el mediano y largo plazo; (c) y (d) Diferencias para el escenario SSP5-8.5 en el mediano y largo plazo, respectivamente.

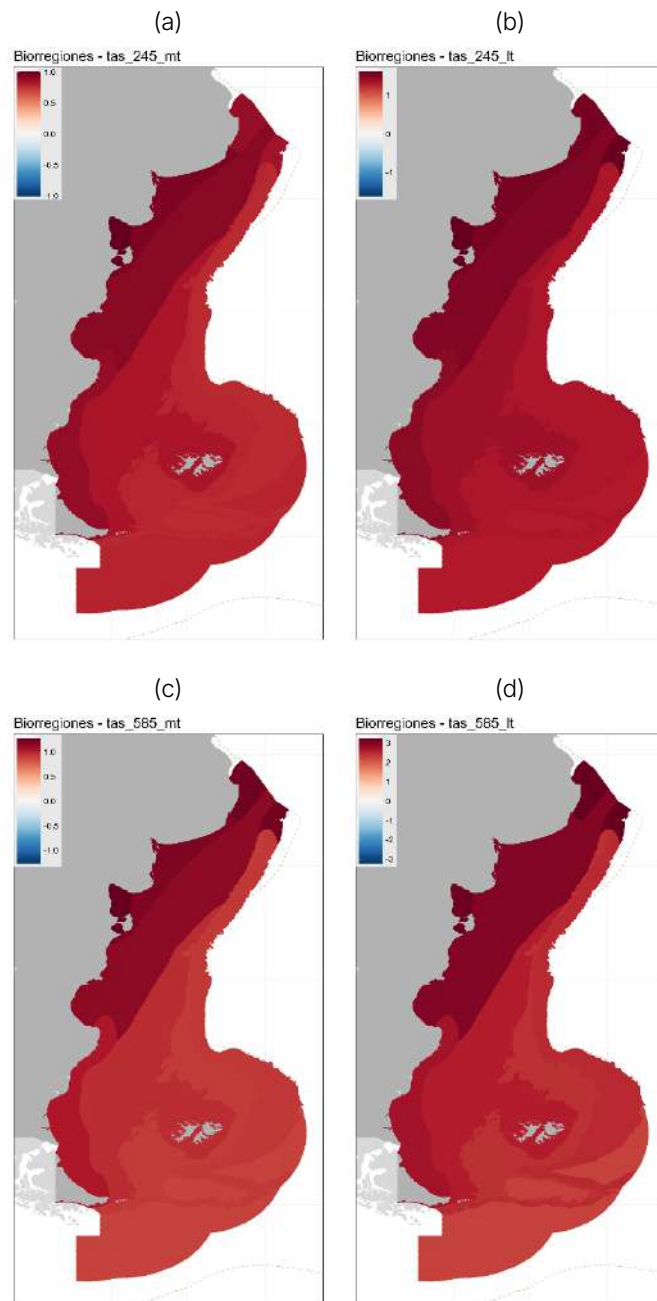


Tabla 12. Tendencias (Trend) por década y variabilidades (STD) observadas de cambios de temperatura superficial del mar (SST), nivel del mar (SLA) y temperatura del aire a 2 metros (2TM) para cada biorregión del Mar Argentino.

BIOREGION	SST (°C)			SLA (m)		T2M (°C)		
	Trend (°C)	STD* (°C)	STD (°C)	Trend (m)	STD (m)	Trend (°C)	STD* (°C)	STD (°C)
Banco Burdwood	-0.09	0.30	1.14	0.03	0.04	0.02	0.35	1.63
Bonaerense-Patagónica	0.18	0.37	3.64	0.03	0.07	0.15	0.36	3.82
Región Subantártica-Polar	-0.12	0.35	1.15	0.03	0.11	0.00	0.36	1.62
Golfos Norpatagónicos	0.17	0.31	2.69	0.03	0.07	0.14	0.37	3.72
Plataforma Austral y Fueguina	-0.02	0.31	2.13	0.03	0.05	0.05	0.36	2.40
Plataforma Magallánica	0.02	0.31	2.10	0.03	0.05	0.09	0.40	2.62
Plataforma Media	0.14	0.39	3.18	0.03	0.05	0.13	0.37	3.27
Talud Superior	-0.04	0.33	1.69	0.03	0.04	0.04	0.35	2.07
Talud Subantártico Profundo	-0.03	0.36	1.92	0.03	0.05	0.05	0.34	2.20
Talud Confluencia	0.35	1.09	3.87	0.05	0.11	0.20	0.67	3.66
Río de la Plata	0.28	0.57	4.13	0.03	0.07	0.20	0.42	4.00

STD* corresponde a la variabilidad sin ciclo estacional.

Tabla 13. Diferencias de temperatura superficial del mar (SST), nivel del mar (SLA) y temperatura del aire a 2 metros (2TM) por cada biorregión del Mar Argentino proyectadas bajo los escenarios SPS2-4.5 y SPS5-8.5 de cambio climático para los períodos 2041-2060 y 2081-2100.

BIOREGION	SST (°C)				SLA (m)				T2M (°C)			
	SPS5-8.5		SPS2-4.5		SPS5-8.5		SPS2-4.5		SPS5-8.5		SPS2-4.5	
	2041 -2060	2081 -2100	2041 -2060	2081 -2100	2041 -2060	2081 -2100	2041 -2060	2081 -2100	2041 -2060	2081 -2100	2041 -2060	2081 -2100
Banco Burdwood	0.74	1.88	0.65	1.12	-0.02	-0.06	-0.02	-0.05	0.89	2.27	0.77	1.29
Bonaerense-Patagónica	1.14	2.81	0.92	1.47	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	1.20	3.01	0.96	1.54
Región Subantártica-Polar	0.72	1.81	0.64	1.08	-0.04	-0.10	-0.04	-0.08	0.89	2.26	0.79	1.30
Golfos Norpatagónicos	1.18	2.82	0.95	1.49	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	1.28	3.16	1.02	1.62
Plataforma Austral y Fueguina	0.89	2.38	0.77	1.28	-0.02	-0.04	-0.02	-0.03	0.97	2.58	0.83	1.38
Plataforma Magallánica	0.92	2.39	0.80	1.34	-0.02	-0.04	-0.02	-0.03	1.04	2.72	0.89	1.46
Plataforma Media	1.11	2.92	0.89	1.45	-0.01	-0.02	-0.01	-0.03	1.15	3.00	0.92	1.50
Talud Superior	0.80	2.15	0.69	1.19	-0.02	-0.05	-0.02	-0.04	0.92	2.42	0.78	1.32
Talud Subantártico Profundo	0.83	2.27	0.69	1.21	-0.03	-0.06	-0.03	-0.06	0.93	2.49	0.78	1.33
Talud Confluencia	1.24	3.26	0.78	1.58	-0.01	0.01	-0.03	-0.03	1.24	3.25	0.86	1.61
Río de la Plata	1.17	3.14	0.76	1.44	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	1.25	3.22	0.89	1.56



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Este estudio presenta los resultados más recientes sobre los cambios climáticos observados en la región en las últimas décadas y los que se proyectan para mediados y fines de este siglo. Algunos resultados son robustos y pueden interpretarse de manera sencilla con un alto nivel de confianza. Otros requieren análisis complementarios que permitan interpretarlos con mayor precisión y confianza.

El análisis llevado a cabo permitió identificar, de manera preliminar, las áreas del Mar Argentino que registraron las mayores o menores variaciones en las últimas décadas. *¿Es posible que las áreas que han estado expuestas a grandes cambios en las últimas décadas presenten mayor resiliencia frente al cambio climático? ¿Las áreas donde se registraron mínimos cambios, constituyen refugios climáticos o áreas de máxima vulnerabilidad a potenciales cambios en el futuro?* Es clave el análisis y el trabajo multidisciplinario para poder responder estas preguntas.

Este estudio también permitió identificar vacíos de conocimiento para comprender el nivel de vulnerabilidad del Mar Argentino y de las especies costeras y marinas que dependen de él. En particular, se identificó la necesidad de estudiar la velocidad de los cambios observados en las últimas décadas y los proyectados, con el fin de comprender las posibilidades de adaptación (resiliencia) de las especies y ecosistemas que se encuentran en el Atlántico Sudoccidental. Por ejemplo, en áreas con alta variabilidad de las variables oceanográficas, biológicas y/o atmosféricas, es necesario comprender si dicha variabilidad es histórica o si ha habido un aumento pronunciado en los últimos años. En este último caso, especies y ecosistemas pueden estar en este momento siendo sometidos a mayores amplitudes a las que están habituados, y por lo tanto, sería necesario monitorearlos con frecuencia.

Por último, se identificó la necesidad de investigar la ocurrencia y frecuencia de eventos climáticos extremos (olas de calor y frío marinas y atmosféricas), que pueden resultar críticos para algunas especies y ecosistemas prioritarios, en particular para aquellos ubicados en áreas de baja variabilidad, donde especies y ecosistemas han experimentado pocos cambios en las últimas décadas.

Respuestas a las preguntas que inspiraron este estudio

¿Qué variables son clave para identificar áreas afectadas por el cambio climático y analizar acciones potenciales para implementar estrategias de adaptación y mitigación?

Debido a que actualmente se dispone de más de 40 años de datos de temperatura superficial del mar, temperatura del aire a 2 metros y vientos, y de casi 30 años de datos de profundidad de la capa de mezcla, estas variables son robustas para identificar las áreas del Mar Argentino más afectadas por el cambio climático en las últimas décadas.

¿Cuáles son las áreas del Mar Argentino y su entorno donde se identifican las mayores tendencias de cambio en las variables físicas y oceanográficas en las últimas décadas?

En general y basado en los análisis de tendencias y proyecciones, la región norte y la zona de la Confluencia Brasil-Malvinas serán focos de cambios intensos y las más impactadas por el cambio climático en toda el área de estudio. La corriente de Brasil y la zona de la Confluencia Brasil-Malvinas se identifican como las regiones de mayor tendencia de cambio en los últimos

40 años. La temperatura del mar aumentó entre 2.4 °C y 3.2 °C, y la del aire a 2 metros de la superficie, entre 1.2 °C y 1.8 °C. Se destaca una variabilidad mayor a 0.8 °C en la temperatura superficial de la corriente Circumpolar Antártica.

Durante los últimos 20 años, la clorofila aumentó hasta aproximadamente 1.6 mg/m³ a lo largo del frente de Talud, la plataforma patagónica media, el Río de la Plata y una región costera entre los 48°S y 50°S. Estos cambios son compatibles con la disminución de la profundidad de la capa de mezcla registrada en estas áreas durante los últimos 30 años.

Es importante destacar los acentuados valores de variabilidad en la profundidad de la capa de mezcla al sur de los 52°S en la plataforma continental argentina (entre 15 y 20 metros), principalmente al sur de las Islas Malvinas y en el sector norte de la corriente Circumpolar Antártica. Otro foco de variabilidad (mayor a 20 metros) se localiza en la región sur de la corriente de Brasil y en la zona de la Confluencia Brasil-Malvinas. Esta variabilidad podría estar asociada al cambio climático. Estas regiones se presentan como las más impactadas de la región, y por ende sus aguas superficiales deben haber sufrido grandes cambios en los flujos verticales, aportes de nutrientes y productividad primaria.

¿Cuáles son las áreas del Mar Argentino y su entorno donde se proyectan los mayores cambios asociados al cambio climático en 2060 y 2100?

Al analizar las proyecciones futuras, el resultado destacado es que no habrá más zonas marinas de enfriamiento. Se espera un aumento de la temperatura superficial del mar en toda el área de estudio. Los aumentos máximos proyectados son de aproximadamente 4 °C y se registran en la zona de la Confluencia Brasil-Malvinas.

En el sur, Tierra del Fuego, Isla de los Estados y Banco Burdwood, el aumento proyectado de la temperatura superficial del mar (1.8 °C) y de la temperatura del aire a 2 metros de la superficie (~2.2 °C), supera los valores asociados a variaciones estacionales y tendencias en las últimas décadas, lo cual señala estas áreas como zonas vulnerables. Los valores máximos de cambios proyectados para la temperatura del aire a 2 metros de la superficie se destacan desde la plataforma del sur de Brasil, Uruguay, Río de la Plata y la costa argentina hasta los 48°S, con incrementos mayores a 3 °C hacia fin de siglo y bajo el escenario de mayores emisiones.

¿Cómo afectan estos cambios analizados a las diferentes AMP del Mar Argentino?

Las AMP localizadas en la plataforma continental norte de la Argentina son las que presentarán los mayores aumentos de temperatura en sus aguas superficiales. La temperatura del aire a 2 metros de la superficie del mar también aumentará, con máximos de aproximadamente 3.8 °C en la zona de la confluencia Brasil Malvinas en el escenario más pesimista a largo plazo (SSP 5.85 para el período 2081-2100). Las AMP localizadas en los alrededores de TDF, Isla de los Estados y Banco de Burdwood se identifican como potencialmente muy vulnerables al cambio climático y a eventos extremos como las olas de calor y frío atmosféricas dado que las variaciones de temperatura superficial proyectadas superan los valores asociados a la variabilidad registrada en las últimas décadas.

Será clave analizar los resultados de este estudio en función de cada una de las AMP, sus ecosistemas y su biodiversidad, para poder evaluar de manera más precisa el impacto de la exposición al cambio climático y comenzar a identificar estrategias que las fortalezcan como herramientas de resiliencia.



BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

- Acha, E. M., Mianzan, H. W., Guerrero, R. A., Favero, M., and Bava, J. 2004. Marine fronts at the continental shelves of austral South America Physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems* 44:83-105.
- Acha, E. M., O. Iribarne and A. Piola, Eds. (2024). *The Patagonian Shelf Break Front. Ecology, Fisheries, Wildlife Conservation*. Switzerland, Springer Nature.
- Aleman, D., Acha, E. M., and Iribarne, O. O. 2014. Marine fronts are important fishing areas for demersal species at the Argentine Sea (Southwest Atlantic Ocean). *Journal of Sea Research* 87:56-67.
- Buratti, C. C., Chidichimo, M. P., Cortés, F., Gaviola, S., Martos, P., Prosdoci, L., Seitune, D., and Verón, E. 2022. Estado del conocimiento de los efectos del cambio climático en el Océano Atlántico Sudoccidental sobre los recursos pesqueros y sus implicancias para el manejo sostenible. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 225 pp.
- Campagna, C., Falabella, V., and Lewis, M. 2007. Entanglement of southern elephant seals in squid fishing gear. *Marine Mammal Science* 23:414-418.
- Campagna, J., Lewis, M. N., González Carman, V., Campagna, C., Guinet, C., Johnson, M., Davis, R. W., Rodríguez, D. H., and Hindell, M. A. 2020. Ontogenetic niche partitioning in southern elephant seals from Argentine Patagonia. *Marine Mammal Science*.
- Commendatore, M. G., and Esteves, J. L. 2007. An assessment of oil pollution in the coastal zone of patagonia, Argentina. *Environ Manage* 40:814-821.
- Copello, S., and Quintana, F. 2003. Marine debris ingestion by Southern Giant Petrels and its potential relationships with fisheries in the Southern Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 46:1513-1515.
- Falabella, V., Campagna, C., and Croxall, J. P. 2009. *Atlas del Mar Patagónico. Especies y espacios*. Wildlife Conservation Society y BirdLife International, Buenos Aires. 304 pp.
- Falabella, V., Acha, M., Iribarne, O., Fermepin, S., & Campagna, C. (2023). *Biorregiones marinas de la Argentina. Reporte final*. (p. 85). Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia.
- Franco, B., Ruiz Etcheverry, L. A., Marrari, M., Piola, A., and Matano, R. P. 2020a. Climate Change Impacts on the Patagonian Shelf Break Front. *Geophysical Research Letters* 49.
- Franco, B. C., Combes, V., and González Carman, V. 2020b. Subsurface Ocean Warming Hotspots and Potential Impacts on Marine Species: The Southwest South Atlantic Ocean Case Study. *Frontiers in Marine Science* 7.
- García-Borboroglu, P., Boersma, P. D., Ruoppolo, V., Reyes, L., Rebstock, G. A., Griot, K., Heredia, S. R., Adornes, A. C., and da Silva, R. P. 2006. Chronic oil pollution harms Magellanic penguins in the Southwest Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 52:193-198.
- García-Borboroglu, P., Pozzi, L. M., Parma, A. M., Dell'Arciprete, P., and Yorío, P. 2022. Population distribution shifts of Magellanic Penguins in northern Patagonia, Argentina: Implications for conservation and management strategies. *Ocean & Coastal Management* 226.
- Gianuca, D., L. Bugoni, S. Jiménez, N. W. Daudt, P. Miller, G. Canani, A. Silva-Costa, F. A. Faria, J. Bastida, J. P. Seco Pon, O. Yates, P. P. Serafini and A. L. Bond (2020). "Intentional killing and extensive aggressive handling of albatrosses and petrels at sea in the southwestern Atlantic Ocean." *Biological Conservation* 252: 108817.
- González Carman, V., Marcelo Acha, E., Maxwell, S. M., Albareda, D., Campagna, C., and Mianzan, H. 2014. Young green turtles, *Chelonia mydas*, exposed to plastic in a frontal area of the SW Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 78:56-62.
- Gulev, S.K., P.W. Thorne, J. Ahn, F.J. Dentener, C.M. Domingues, S. Gerland, D. Gong, D.S. Kaufman, H.C. Nnamchi, J. Quaas, J.A. Rivera, S. Sathyendranath, S.L. Smith, B. Trewin, K. von Schuckmann, and R.S. Vose, 2021: Changing State of the Climate System. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 287–422, doi: 10.1017/9781009157896.004
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D. and Simmons, A. 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146(730):1999-2049.

- Hobday, A. J., and Pecl, G. T. 2013. Identification of global marine hotspots: sentinels for change and vanguards for adaptation action. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 24:415-425.
- Kroodsmá, D. A., Mayorga, J., Hochberg, T., Miller, N. A., Boerder, K., Ferretti, F., Willson, A., Bergman, B., White, T. D., Block, B., Woods, P., Sullivan, B., Costello, C., and Worm, B. 2018. Tracking the global footprint of fisheries. *Science* 359:904-908.
- Lutz, V. A., Segura, V., Dogliotti, A. I., Gagliardini, D. A., Bianchi, A. A., and Balestrini, C. F. 2010. Primary production in the Argentine Sea during spring estimated by field and satellite models. *Journal of Plankton Research* 32:181-195.
- Nicholls, D. G., Robertson, C. J. R., Prince, P. A., Murray, M. D., Walker, K. J., and Elliot, G. P. 2002. Foraging niches of three *Diomedea* albatrosses. *Marine Ecology Progress Series* 231:260-277.
- Mandiola, M. A., R. Bagnato, J. C. M. Gana, M. C. De León, M. Dassis, D. Albareda and P. Denuncio (2021). "Baseline data of the presence of meso and microplastics in digestive tract of a commercially important teleost fish from the Rio de la Plata Estuary System (Southwest Atlantic Ocean)." *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)* 35(1).
- Martinetto P., D. Alemany, F. Botto, M. Mastrángelo, V. Falabella, M. Acha, G. Antón, A. Bianchi, C. Campagna, G. Cañete, P. Filippo, O. Iribarne, P. Lateral, P. Martínez, R. Negri, A. Piola, S. Romero, D. Santos & M. Saraceno, 2020, Linking the scientific knowledge on marine frontal systems with ecosystem services, *Ambio*, 49:541–556, doi: 10.1007/s13280-019-01222-w.
- Pecl, G. T., Araujo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengard, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H. I., Martin, V. Y., McCormack, P. C., McDonald, J., Mitchell, N. J., Mustonen, T., Pandolfi, J. M., Pettorelli, N., Popova, E., Robinson, S. A., Scheffers, B. R., Shaw, J. D., Sorte, C. J. B., Strugnell, J. M., Sunday, J. M., Tuanmu, M. N., Verges, A., Villanueva, C., Wernberg, T., Wapstra, E., and Williams, S. E. 2017. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* 355.
- Shaltout, M., & Omstedt, A. (2014). Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea. *Oceanologia*, 56(3), 411–443. <https://doi.org/10.5697/oc.56-3.411>
- Villasante, S., Macho, G., Rde Rivero, J. I., Divovich, E., Zylich, K., Haper, S., Zeller, D., and Pauly, D. 2015. Reconstruction of marine fisheries catches in Argentina (1950- 2010). Fisheries Centre, The University of Brithis Columbia. 1-16 pp.
- Zerbini, A. N., Mendez, M., Rosenbaum, H., Sucunza, F., Andriolo, A., Harris, G., Clapham, P. J., Sironi, M., and Uhart, M. 2015. Tracking southern right whales through the southwest Atlantic: New insights into migratory routes and feeding grounds. Document SC/66a/BRG/22 Rev1 presented to the International Whaling Commission Scientific Committee:9.

ANEXO I

En este anexo se presentan los resultados del análisis de los cambios observados en las distintas variables analizadas en las áreas marinas protegidas de la Argentina.

Tabla A1. Análisis de los cambios observados de la temperatura superficial del mar en las áreas marinas protegidas de la Argentina.

ÁREA MARINA PROTEGIDA PROVINCIA	Celdas	NA	Tendencia (°C/década)	Variabilidad sin ciclo estacional (°C)	Variabilidad total (°C)
Arroyo Zabala - Buenos Aires	3	2	0.3	0.4	3.6
Bahía Blanca, Ba. Falsa y Ba. Verde - Buenos Aires	10	4	0.0	0.3	4.8
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	7	3	0.3	0.6	4.6
Bahía San Blas - Buenos Aires	14	2	0.1	0.3	4.5
Bahía de San Antonio - Río Negro	4	1	0.2	0.3	2.8
Caleta de Los Loros, P. Salado y Pta. Mejillón - Río Negro	4	1	0.2	0.3	2.8
Centinela del Mar - Buenos Aires	1	0	0.4	0.6	3.6
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	5	2	0.2	0.4	2.7
Isla Pingüino - Santa Cruz	12	1	0.1	0.3	2.5
Islote Lobos - Río Negro	4	2	0.2	0.3	2.7
Makenke - Santa Cruz	5	1	0.1	0.3	2.4
Monte Loayza - Santa Cruz	6	3	0.1	0.3	2.8
Namuncurá Banco Burdwood I (PNM) - Mar Argentino	78	0	-0.1	0.3	1.1
Namuncurá Banco Burdwood I (RNM) - Mar Argentino	24	0	-0.1	0.3	1.1
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	25	0	-0.1	0.3	1.0
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	58	0	-0.1	0.3	1.0
Patagonia Austral - Chubut	10	2	0.2	0.4	2.8
Patagonia Azul - Chubut	11	2	0.2	0.3	2.8
Pehuén Co - Monte Hermoso - Buenos Aires	4	2	0.1	0.3	4.7
Península Valdés - Chubut	25	5	0.2	0.3	2.6
Península Mitre (RPUM) - Tierra del Fuego	23	1	0.0	0.3	1.3
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	23	6	0.0	0.3	1.3
Península Mitre (Isla de los Estados) - Tierra del Fuego	12	0	-0.1	0.3	1.1
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	0.1	0.3	2.8
Puerto Lobos - Río Negro	5	2	0.2	0.3	2.5
Punta Bermeja - Río Negro	1	0	0.2	0.3	3.3
Punta León - Chubut	1	0	0.2	0.3	2.8
Punta Marqués - Chubut	1	1	NA	NA	NA
Punta Tombo - Chubut	4	2	0.2	0.3	2.9
Restinga del Faro - Buenos Aires	1	0	0.4	0.6	3.7
Rincón de Ajó - Buenos Aires	3	2	0.3	0.6	4.3
Rocas Coloradas - Chubut	5	1	0.2	0.4	2.8
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	150	0	-0.1	0.3	1.1
Yaganes (RNM y RNME) - Mar Argentino	42	0	-0.1	0.3	1.0

Tabla A2. Análisis de los cambios observados de la altura de la superficie del mar en las áreas marinas protegidas de la Argentina.

ÁREA MARINA PROTEGIDA PROVINCIA	Celdas	NA	Tendencia (m/década)	Variabilidad total (m)
Arroyo Zabala - Buenos Aires	2	1	0.03	0.07
Bahía Blanca, Ba. Falsa y Ba. Verde - Buenos Aires	13	1	0.04	0.07
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	10	4	0.02	0.08
Bahía San Blas - Buenos Aires	14	2	0.03	0.07
Bahía de San Antonio - Río Negro	5	2	0.05	0.08
Caleta de Los Loros, P. Salado y Pta. Mejillón - Río Negro	3	0	0.04	0.07
Centinela del Mar - Buenos Aires	2	1	0.03	0.07
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	6	1	0.02	0.05
Isla Pingüino - Santa Cruz	11	1	0.03	0.06
Islote Lobos - Río Negro	2	0	0.03	0.07
Makenke - Santa Cruz	8	2	0.03	0.05
Monte Loayza - Santa Cruz	6	0	0.02	0.05
Namuncurá Banco Burdwood I (PNM) - Mar Argentino	80	0	0.03	0.04
Namuncurá Banco Burdwood I (RNM) - Mar Argentino	19	0	0.03	0.04
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	22	0	0.03	0.08
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	57	0	0.02	0.08
Patagonia Austral - Chubut	10	3	0.03	0.05
Patagonia Azul - Chubut	14	3	0.03	0.05
Pehuén Co - Monte Hermoso - Buenos Aires	5	3	0.04	0.07
Península Valdés - Chubut	27	4	0.02	0.07
Península Mitre (RPUM) - Tierra del Fuego	23	0	0.03	0.05
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	22	2	0.03	0.05
Península Mitre (Isla de los Estados) - Tierra del Fuego	10	0	0.03	0.04
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	0.02	0.05
Puerto Lobos - Río Negro	3	0	0.02	0.07
Punta Bermeja - Río Negro	2	0	0.03	0.07
Punta León - Chubut	1	0	0.04	0.06
Punta Marqués - Chubut	1	0	0.03	0.05
Punta Tombo - Chubut	3	0	0.03	0.06
Restinga del Faro - Buenos Aires	1	0	0.03	0.07
Rincón de Ajó - Buenos Aires	2	0	0.03	0.08
Rocas Coloradas - Chubut	4	1	0.03	0.05
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	143	0	0.03	0.13
Yaganes (RNM y RNME) - Mar Argentino	38	0	0.03	0.05

Tabla A3. Análisis de los cambios observados de la temperatura del aire a dos metros del mar en las áreas marinas protegidas de la Argentina.

ÁREA MARINA PROTEGIDA PROVINCIA	Celdas	NA	Tendencia (°C/década)	Variabilidad sin ciclo estacional (°C)	Variabilidad total (°C)
Arroyo Zabala - Buenos Aires	1	0	0.1	0.3	4.3
Bahía Blanca, Ba. Falsa y Ba. Verde - Buenos Aires	12	0	0.2	0.4	4.8
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	8	0	0.2	0.4	4.5
Bahía San Blas - Buenos Aires	15	0	0.2	0.4	4.5
Bahía de San Antonio - Río Negro	5	0	0.1	0.4	4.9
Caleta de Los Loros, P. Salado y Pta. Mejillón - Río Negro	2	0	0.1	0.4	4.7
Centinela del Mar - Buenos Aires	3	0	0.1	0.3	3.8
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	6	0	0.2	0.4	3.5
Isla Pingüino - Santa Cruz	14	0	0.1	0.4	3.3
Islote Lobos - Río Negro	2	0	0.1	0.4	4.6
Makenke - Santa Cruz	6	0	0.1	0.5	3.6
Monte Loayza - Santa Cruz	4	0	0.1	0.4	4
Namuncurá Banco Burdwood I (PNM) - Mar Argentino	77	0	0	0.3	1.6
Namuncurá Banco Burdwood I (RNM) - Mar Argentino	21	0	0	0.3	1.6
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	23	0	0	0.3	1.5
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	63	0	0	0.4	1.6
Patagonia Austral - Chubut	9	0	0.2	0.4	3.7
Patagonia Azul - Chubut	13	0	0.2	0.4	3.4
Pehuén Co - Monte Hermoso - Buenos Aires	3	0	0.1	0.4	5.1
Península Valdés - Chubut	29	0	0.1	0.4	3.7
Península Mitre (RPUM) - Tierra del Fuego	25	0	0.1	0.4	2.1
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	18	0	0.1	0.4	2.4
Península Mitre (Isla de los Estados) - Tierra del Fuego	11	0	0	0.4	1.7
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	0.2	0.5	4.5
Puerto Lobos - Río Negro	4	0	0.1	0.4	4.1
Punta Bermeja - Río Negro	2	0	0.1	0.3	3.6
Punta León - Chubut	1	0	0.2	0.4	3.3
Punta Marqués - Chubut	1	0	0.1	0.4	3.5
Punta Tombo - Chubut	4	0	0.2	0.4	3.2
Restinga del Faro - Buenos Aires	2	0	0.1	0.4	4
Rincón de Ajó - Buenos Aires	2	0	0.2	0.4	4.4
Rocas Coloradas - Chubut	3	0	0.2	0.5	4.2
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	137	0	0	0.4	1.6
Yaganes (RNM y RNME) - Mar Argentino	43	0	0	0.4	1.6

ANEXO II

En este anexo se presentan los resultados del análisis de las proyecciones bajo dos los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 a mediano y largo plazo (2041-2060 y 2081-2100 respectivamente) de las distintas variables analizadas en las áreas marinas protegidas.

Tabla A2. Análisis de las proyecciones de temperatura superficial del mar (en °C) en las áreas marinas protegidas de la Argentina, a mediano y largo plazo (2041-2060 y 2081-2100) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

ÁREA MARINA PROTEGIDA PROVINCIA	Celdas	NA	SSP5-8.5		SSP2-4.5	
			2041-2060	2081-2100	2041-2060	2081-2100
Arroyo Zabala - Buenos Aires	1	0	1.5	3.6	1.2	2.0
Bahía Blanca, Ba. Falsa y Ba. Verde - Buenos Aires	2	0	1.2	2.6	0.9	1.5
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	2	0	1.1	2.9	0.7	1.3
Bahía San Blas - Buenos Aires	2	0	1.2	2.8	0.9	1.5
Bahía de San Antonio - Río Negro	1	0	1.4	3.3	1.1	2.0
Caleta de Los Loros, P. Salado y Pta. Mejillón - Río Negro	2	0	1.3	3.0	1.0	1.6
Centinela del Mar - Buenos Aires	1	0	1.4	3.2	1.1	1.7
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	3	2	1.0	2.6	0.8	1.4
Isla Pingüino - Santa Cruz	4	0	1.1	2.8	0.9	1.5
Islote Lobos - Río Negro	1	0	1.1	2.6	0.9	1.4
Makenke - Santa Cruz	1	0	1.1	2.7	0.8	1.6
Monte Loayza - Santa Cruz	4	1	1.2	2.9	1.0	1.6
Namuncurá Banco Burdwood I (PNM) - Mar Argentino	10	0	0.7	1.9	0.6	1.1
Namuncurá Banco Burdwood I (RNM) - Mar Argentino	4	0	0.7	1.9	0.6	1.1
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	4	0	0.7	1.8	0.6	1.1
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	8	0	0.7	1.8	0.6	1.1
Patagonia Austral - Chubut	5	0	1.1	2.9	0.9	1.5
Patagonia Azul - Chubut	5	0	1.1	2.9	0.9	1.5
Pehuén Co - Monte Hermoso - Buenos Aires	4	0	1.2	2.6	0.9	1.5
Península Valdés - Chubut	5	0	1.1	2.8	0.9	1.4
Península Mitre (RPUM) - Tierra del Fuego	4	0	0.7	1.9	0.6	1.1
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	6	0	0.7	1.9	0.7	1.1
Península Mitre (Isla de los Estados) - Tierra del Fuego	2	0	0.7	1.8	0.6	1.1
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	1.0	2.6	0.8	1.4
Puerto Lobos - Río Negro	2	0	1.1	2.6	0.9	1.4
Punta Bermeja - Río Negro	1	0	1.1	2.9	0.9	1.5
Punta León - Chubut	1	0	1.1	2.8	0.9	1.5
Punta Marqués - Chubut	1	1	NA	NA	NA	NA
Punta Tombo - Chubut	2	0	1.0	2.6	0.8	1.3
Restinga del Faro - Buenos Aires	1	0	1.4	3.2	1.1	1.7
Rincón de Ajó - Buenos Aires	1	0	1.1	2.9	0.6	1.2
Rocas Coloradas - Chubut	1	0	1.0	2.6	0.8	1.4
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	15	0	0.7	1.8	0.7	1.1
Yaganes (RNM y RNME) - Mar Argentino	5	0	0.7	1.8	0.6	1.1

Tabla A3. Análisis de las proyecciones del nivel de la superficie del mar (en metros) en las áreas marinas protegidas de la Argentina, a mediano y largo plazo (2041-2060 y 2081-2100) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

ÁREA MARINA PROTEGIDA PROVINCIA	Celdas	NA	SSP5-8.5		SSP2-4.5	
			2041 -2060	2081 -2100	2041 -2060	2081 -2100
Arroyo Zabala - Buenos Aires	1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Bahía Blanca, Ba. Falsa y Ba. Verde - Buenos Aires	2	0	-0.01	-0.02	0.00	-0.01
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	2	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Bahía San Blas - Buenos Aires	2	0	-0.02	-0.04	-0.01	-0.03
Bahía de San Antonio - Río Negro	1	0	0.02	0.03	0.02	0.03
Caleta de Los Loros, P. Salado y Pta. Mejillón - Río Negro	2	0	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02
Centinela del Mar - Buenos Aires	1	0	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	3	2	0.00	-0.02	-0.01	-0.01
Isla Pingüino - Santa Cruz	4	0	-0.02	-0.04	-0.02	-0.03
Islote Lobos - Río Negro	1	0	0.00	-0.01	0.00	0.00
Makenke - Santa Cruz	1	0	-0.02	-0.03	0.00	-0.02
Monte Loayza - Santa Cruz	4	1	-0.02	-0.04	-0.01	-0.03
Namuncurá Banco Burdwood I (PNM) - Mar Argentino	10	0	-0.02	-0.06	-0.02	-0.05
Namuncurá Banco Burdwood I (RNM) - Mar Argentino	4	0	-0.02	-0.05	-0.02	-0.04
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	4	0	-0.03	-0.07	-0.02	-0.06
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	8	0	-0.03	-0.08	-0.03	-0.06
Patagonia Austral - Chubut	5	0	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02
Patagonia Azul - Chubut	5	0	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02
Pehuén Co - Monte Hermoso - Buenos Aires	4	0	-0.01	-0.02	0.00	-0.01
Península Valdés - Chubut	5	0	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02
Península Mitre (RPUM) - Tierra del Fuego	4	0	-0.02	-0.05	-0.02	-0.03
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	6	0	-0.02	-0.05	-0.02	-0.03
Península Mitre (Isla de los Estados) - Tierra del Fuego	2	0	-0.02	-0.05	-0.02	-0.04
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	0.00	-0.02	-0.01	-0.01
Puerto Lobos - Río Negro	2	0	0.00	-0.01	0.00	0.00
Punta Bermeja - Río Negro	1	0	-0.01	-0.03	-0.01	-0.03
Punta León - Chubut	1	0	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02
Punta Marqués - Chubut	1	1	NA	NA	NA	NA
Punta Tombo - Chubut	2	0	0.00	-0.02	-0.01	-0.01
Restinga del Faro - Buenos Aires	1	0	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03
Rincón de Ajó - Buenos Aires	1	0	0.00	0.00	0.00	-0.01
Rocas Coloradas - Chubut	1	0	0.00	-0.02	-0.01	-0.01
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	15	0	-0.06	-0.12	-0.04	-0.10
Yaganes (RNM y RNME) - Mar Argentino	5	0	-0.03	-0.07	-0.03	-0.06

Tabla A4. Análisis de las proyecciones de la temperatura el aire a dos metros (en °C) en las áreas marinas protegidas de la Argentina, a mediano y largo plazo (2041-2060 y 2081-2100) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

ÁREA MARINA PROTEGIDA PROVINCIA	Celdas	NA	SSP5-8.5		SSP2-4.5	
			2041 -2060	2081 -2100	2041 -2060	2081 -2100
Arroyo Zabala - Buenos Aires	1	0	1.2	3.1	1.0	1.6
Bahía Blanca, Ba. Falsa y Ba. Verde - Buenos Aires	2	0	1.3	3.1	1.0	1.6
Bahía Samborombón (RNOD) - Buenos Aires	2	0	1.3	3.2	0.9	1.6
Bahía San Blas - Buenos Aires	2	0	1.2	3.0	1.0	1.6
Bahía de San Antonio - Río Negro	1	0	1.4	3.4	1.1	1.7
Caleta de Los Loros, P. Salado y Pta. Mejillón - Río Negro	2	0	1.3	3.1	1.0	1.6
Centinela del Mar - Buenos Aires	1	0	1.2	3.0	0.9	1.5
Costa Norte de Santa Cruz - Santa Cruz	3	0	1.3	3.4	1.1	1.7
Isla Pingüino - Santa Cruz	4	0	1.1	2.9	0.9	1.5
Islote Lobos - Río Negro	1	0	1.3	3.2	1.0	1.7
Makenke - Santa Cruz	1	0	1.2	3.1	1.0	1.6
Monte Loayza - Santa Cruz	4	0	1.2	3.0	1.0	1.6
Namuncurá Banco Burdwood I (PNM) - Mar Argentino	10	0	0.9	2.3	0.8	1.3
Namuncurá Banco Burdwood I (RNM) - Mar Argentino	4	0	0.9	2.3	0.8	1.3
Namuncurá Banco Burdwood II (RNM) - Mar Argentino	4	0	0.9	2.2	0.8	1.3
Namuncurá Banco Burdwood II (RNME) - Mar Argentino	8	0	0.9	2.2	0.8	1.3
Patagonia Austral - Chubut	5	0	1.2	3.1	1.0	1.6
Patagonia Azul - Chubut	5	0	1.2	3.1	1.0	1.6
Pehuén Co - Monte Hermoso - Buenos Aires	4	0	1.2	3.1	1.0	1.6
Península Valdés - Chubut	5	0	1.2	3.1	1.0	1.6
Península Mitre (RPUM) - Tierra del Fuego	4	0	0.9	2.4	0.8	1.3
Península Mitre (Isla Grande) - Tierra del Fuego	6	0	0.9	2.4	0.8	1.3
Península Mitre (Isla de los Estados) - Tierra del Fuego	2	0	0.9	2.3	0.8	1.3
Pingüinos - Santa Cruz	1	0	1.3	3.3	1.0	1.7
Puerto Lobos - Río Negro	2	0	1.3	3.2	1.0	1.7
Punta Bermeja - Río Negro	1	0	1.2	3.0	1.0	1.5
Punta León - Chubut	1	0	1.2	3.0	1.0	1.5
Punta Marqués - Chubut	1	0	1.4	3.6	1.1	1.8
Punta Tombo - Chubut	2	0	1.2	3.1	1.0	1.6
Restinga del Faro - Buenos Aires	1	0	1.2	3.0	0.9	1.5
Rincón de Ajó - Buenos Aires	1	0	1.2	3.2	0.9	1.5
Rocas Coloradas - Chubut	1	0	1.3	3.3	1.0	1.7
Yaganes (PNM y RNME) - Mar Argentino	15	0	0.9	2.3	0.8	1.3
Yaganes (RNM y RNME) - Mar Argentino	5	0	0.9	2.3	0.8	1.3

