



El Mar Patagónico

The Patagonian Sea

A. R. Piola y V. Falabella

Principales características oceanográficas y físicas



© Valeria Falabella

El Mar Patagónico identifica un extenso ecosistema oceánico (aproximadamente 3.000.000 km²) que comprende el margen continental del Atlántico sudoccidental, expuesto a los efectos ecológicos de los frentes generados por las corrientes de Malvinas y de Brasil. El eje del sistema es la corriente de Malvinas.

Se encuentra entre los sistemas más productivos del mundo y alberga poblaciones de 600 especies de vertebrados; entre ellas, 64 especies de aves marinas, 47 de mamíferos marinos y 5 de las 7 especies de tortugas del mundo. Los apostaderos de mamíferos y las colonias de aves marinas que se asientan en la costa y las islas, junto con las agregaciones de cetáceos, constituyen sin duda algunos de los mayores espectáculos de fauna marina del planeta. Los pingüinos, albatros, petreles, ballenas francas, lobos y elefantes marinos suelen verse principalmente en las zonas costeras, pero dependen enteramente de las grandes extensiones del mar abierto para cumplir su ciclo anual y de vida que, en ocasiones, tiene lugar a cientos de kilómetros de la orilla.

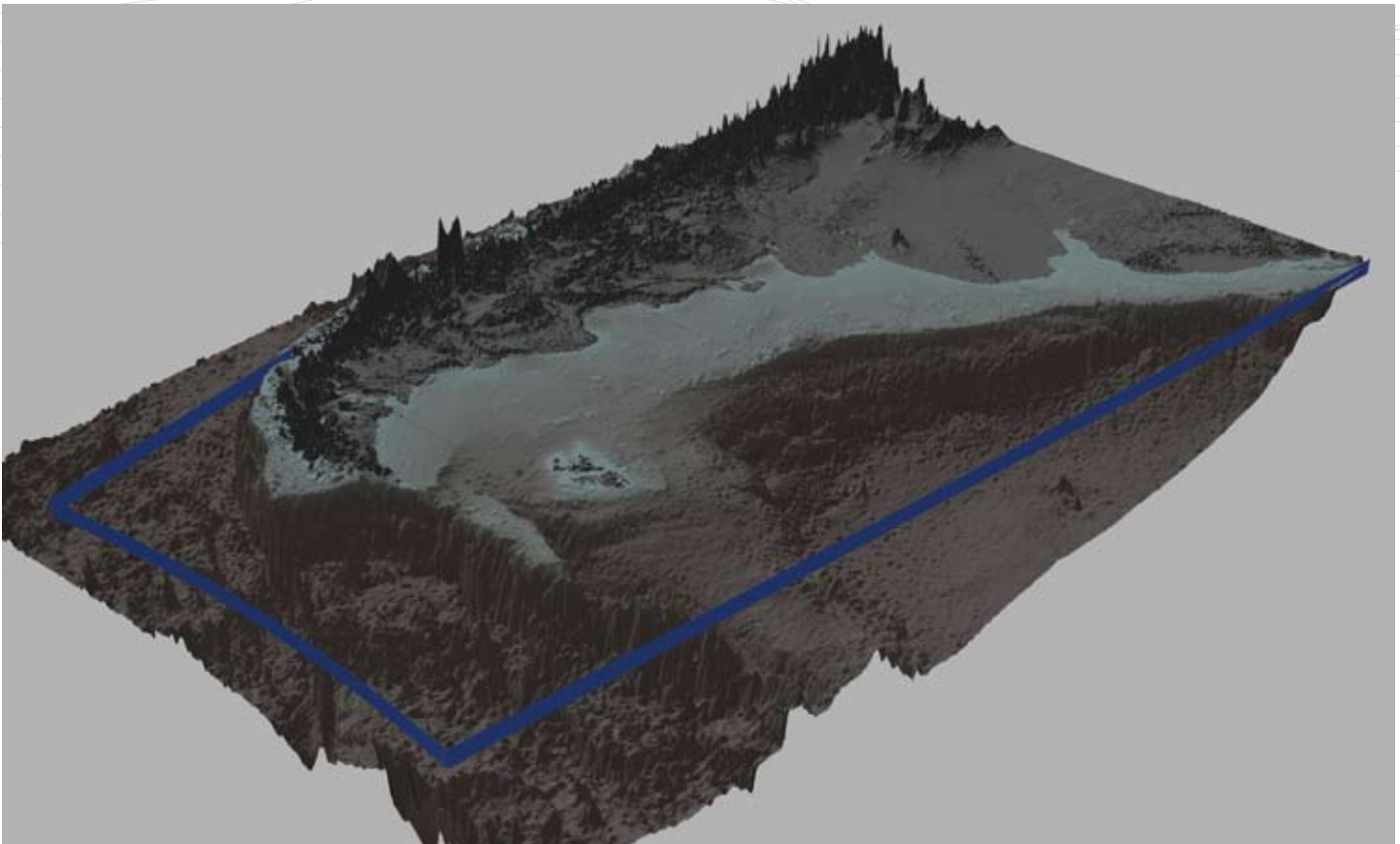
Main Oceanographic and Physical Characteristics



© Valeria Falabella

The Patagonian Sea is a name used to identify a vast oceanic ecosystem (of approximately 3,000,000 km²) that includes the continental margin of the south-western Atlantic which is exposed to the ecological effects of the fronts generated by the Malvinas and Brazil currents. Malvinas Current is the axis of the system.

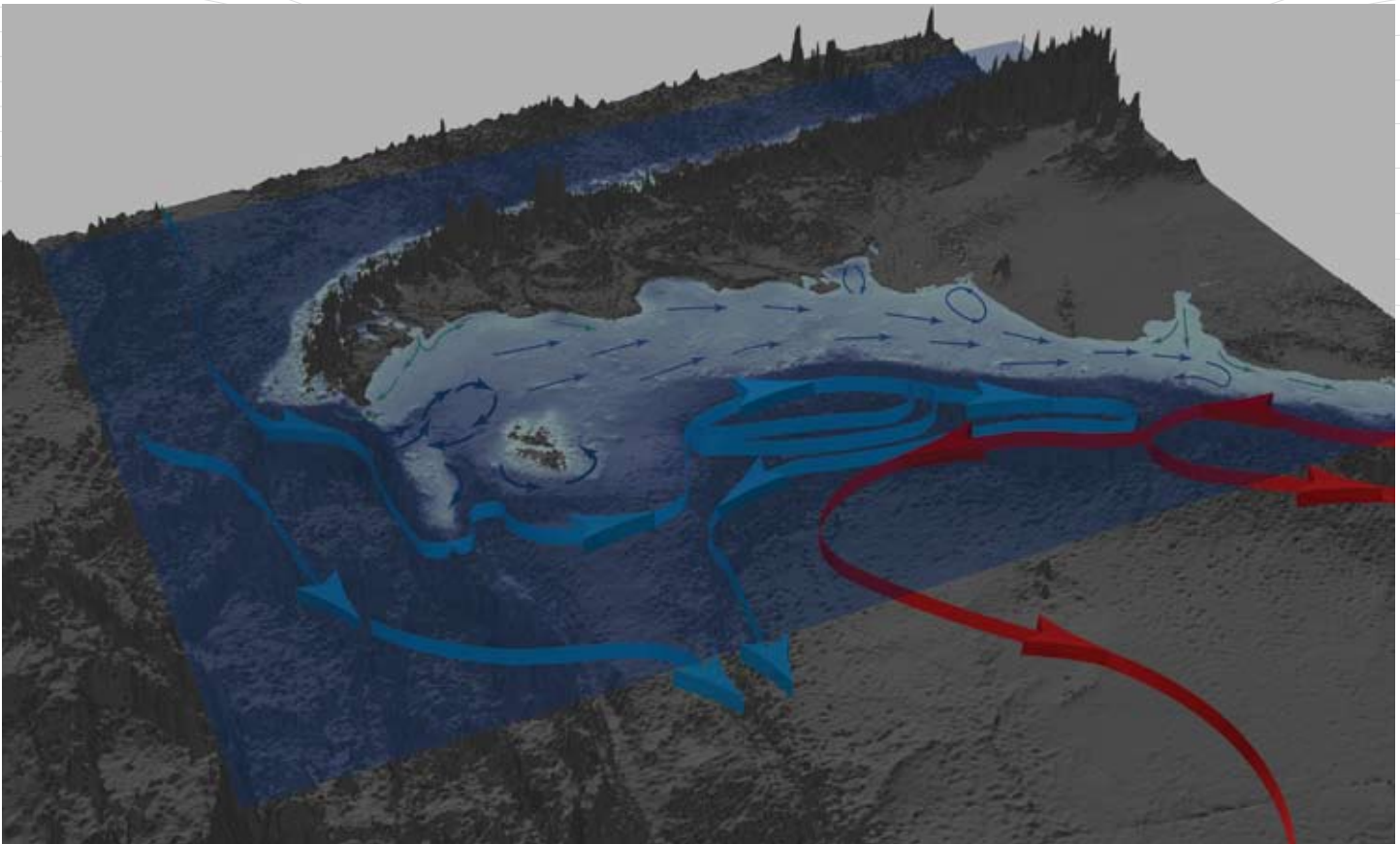
It is among the world's most productive systems and is home to populations of 600 species of vertebrates, including 64 species of seabirds, 47 of marine mammals and 5 of the 7 species of turtles in the world. The colonies of both mammals and seabirds on the coast and islands, together with the aggregations of cetaceans, certainly provide some of the greatest spectacles of marine fauna on the planet. Penguins, albatrosses, petrels, right whales, sea lions and elephant seals are usually mainly seen in the coastal areas but depend entirely on the great expanses of open sea (at times hundreds of kilometres from the shore) to complete their annual and life cycles.



Mapa generado a partir de la base de datos ETOPO2 (National Geophysical Data Center - NGDC).

Plataforma continental. El Mar Patagónico incluye una extensa plataforma continental (aproximadamente 1.000.000 km²) de relieve y pendiente escasos, que en su mayor parte no supera los 100 m de profundidad. En el borde de la plataforma la profundidad aumenta a 160-200 m y de allí la pendiente crece en forma más abrupta, a razón de un metro cada 1.000 m en el llamado talud continental (de Oeste a Este). Más allá del talud encontramos la Cuenca Argentina, un gran abismo de miles de metros de profundidad.

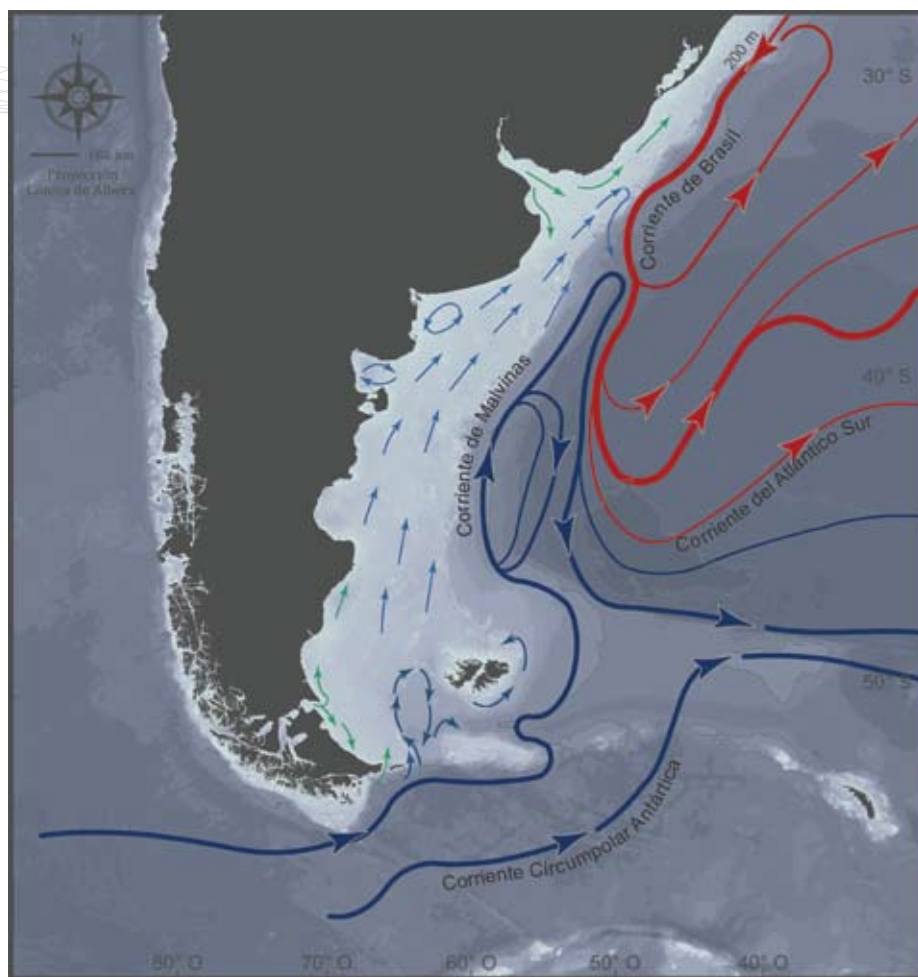
Continental Shelf. The Patagonian Sea includes an extensive and flat continental shelf (approximately 1,000,000 km²), which rarely exceeds 100 m in depth. At the edge of the shelf the depth increases to 160-200 m, and thence the slope increases more abruptly, by one metre for every 1,000 m (West to East) on the so-called continental slope. Beyond the slope is the Argentine Basin, a great abyss, thousands of metres in depth.



Mapa generado a partir de la base de datos ETOPO2 (National Geophysical Data Center - NGDC). Datos de corrientes: adaptado de Piola y Matano (2001).

Circulación de las aguas y batimetría. El Mar Patagónico se encuentra dominado por dos grandes corrientes marinas. La corriente fría de Malvinas constituye la columna vertebral productiva del sistema oceánico. La corriente de Brasil, en cambio, es cálida y con baja concentración de nutrientes. La circulación de las aguas afecta al océano profundo y a la plataforma continental. La corriente de Malvinas sigue el contorno del talud continental.

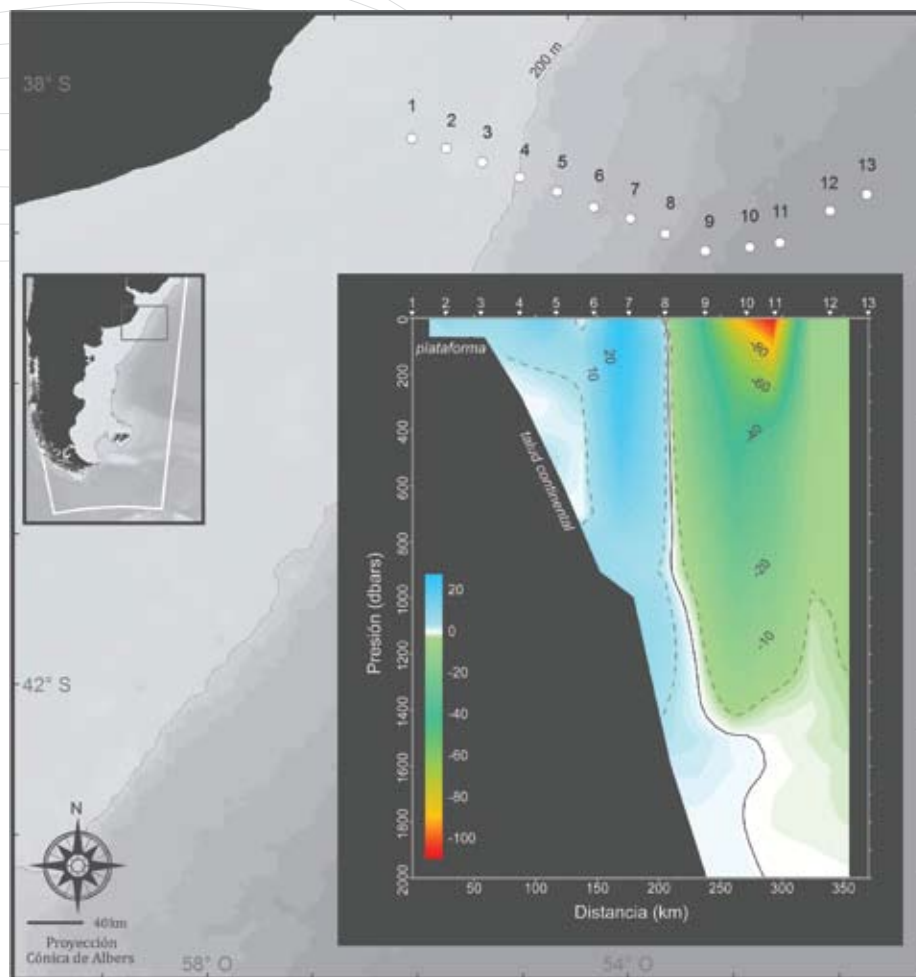
Currents and Bathymetry. The Patagonian Sea is dominated by two marine currents: the temperate Malvinas Current, the backbone of the ocean system, and the warm Brazil Current which, in contrast, has low nutrient concentrations. These currents affect both the deep ocean and the shallow shelf. The Malvinas Current follows the contour of the shelf slope.



Mapa adaptado de Piola y Matano (2001).

Las corrientes del Mar Patagónico. La corriente de Malvinas nace del brazo norte de la corriente Circumpolar Antártica y al atravesar el Pasaje de Drake se bifurca. La rama principal se desplaza bordeando el talud continental, trasladando aguas frías y ricas en nutrientes hacia el Norte. La rama oeste contribuye a formar la corriente Costera Patagónica que circula hacia el Norte sobre la plataforma continental y traslada aguas frías subantárticas y de baja salinidad por el aporte de aguas continentales. La corriente de Brasil ingresa al sistema desde el Norte hasta encontrarse frontalmente con la corriente de Malvinas en la llamada Zona de Confluencia. El choque de masas de aguas diferentes genera intensos gradientes térmicos y salinos y la formación de remolinos y frentes productivos.

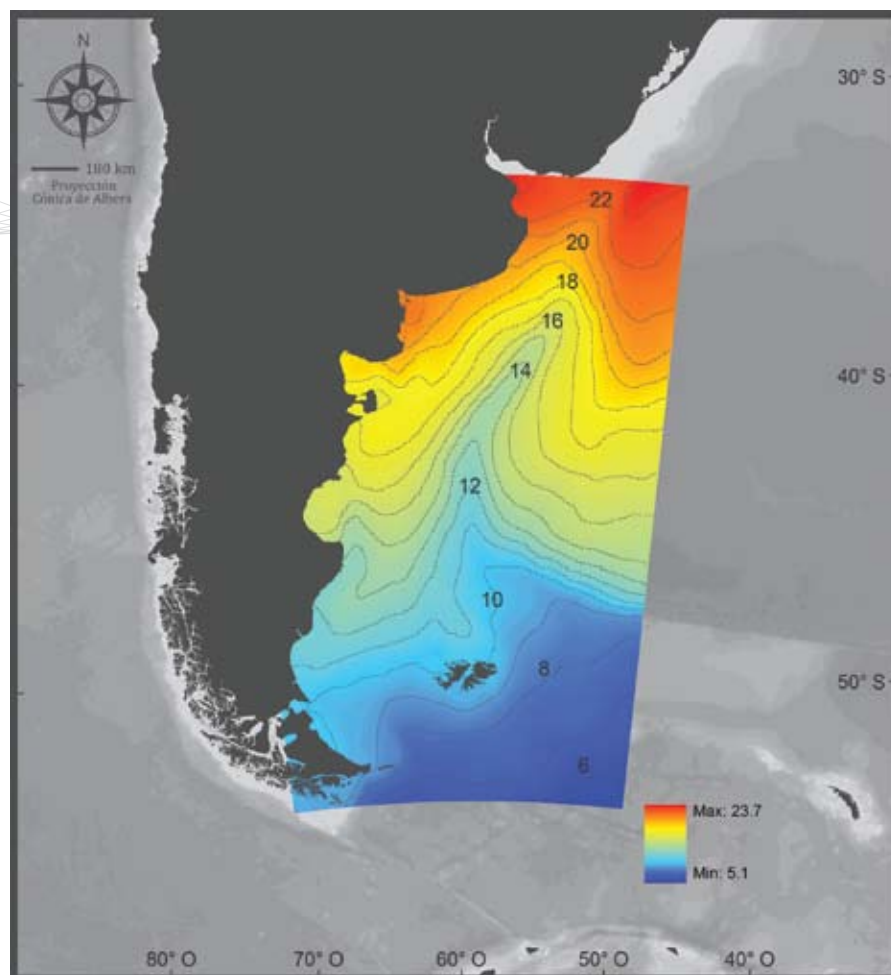
The Currents of the Patagonian Sea. The Malvinas Current is derived from the northern arm of the Antarctic Circumpolar Current and, on crossing the Drake Passage, separates into two arms. The main branch moves along the edge of the continental slope, transferring cold, nutrient-rich waters northwards. The western branch helps form the Patagonian Coastal Current which moves northwards over the continental shelf and transfers cold sub-Antarctic waters of low salinity due to the addition of continental waters. The Brazil Current enters the system from the north and meets the Malvinas Current in the so-called Confluence Zone. This collision of masses of different waters creates intense thermal and saline gradients and leads to the formation of eddies and productive fronts.



Datos aportados por Piola, A. (SHN-UBA-CONICET).

Velocidad de las corrientes. En el gráfico puede observarse una sección de velocidad de las corrientes marinas (en cm/s) sobre la plataforma exterior y el talud continental a una latitud cercana a los 38-39°S. Los colores celestes representan flujo hacia el Norte (valores positivos), asociado a la corriente de Malvinas. Los colores verde-amarillo-rojo (valores negativos) representan flujo hacia el Sur, asociado a la corriente de Retorno de Malvinas y a la corriente de Brasil. El intervalo entre contornos es 10 cm/s, excepto por los contornos en línea de guiones que corresponden a ± 3 cm/s. El contorno más grueso (0 cm/s) es la transición entre flujo hacia el Norte y hacia el Sur. El mapa de fondo muestra la localización de la sección de estaciones oceanográficas (círculos blancos) empleadas para estimar la velocidad.

Currents Velocity. The graphic shows velocity section of marine currents (in cm/s) across the outer shelf and continental slope near 38-39°S. Light blue colors represent northward flow (positive values) through the section, associated with the Malvinas Current. Green-yellow-red colors represent southward flow (negative), associated with the Malvinas Return Current and the Brazil Current. Contour interval is 10 cm/s, except for the dashed contours which correspond to ± 3 cm/s. The heavy contour (0 cm/s) marks the transition between northward and southward flow. The background map shows the location of the section of hydrographic stations (white circles) used to estimate the velocity.



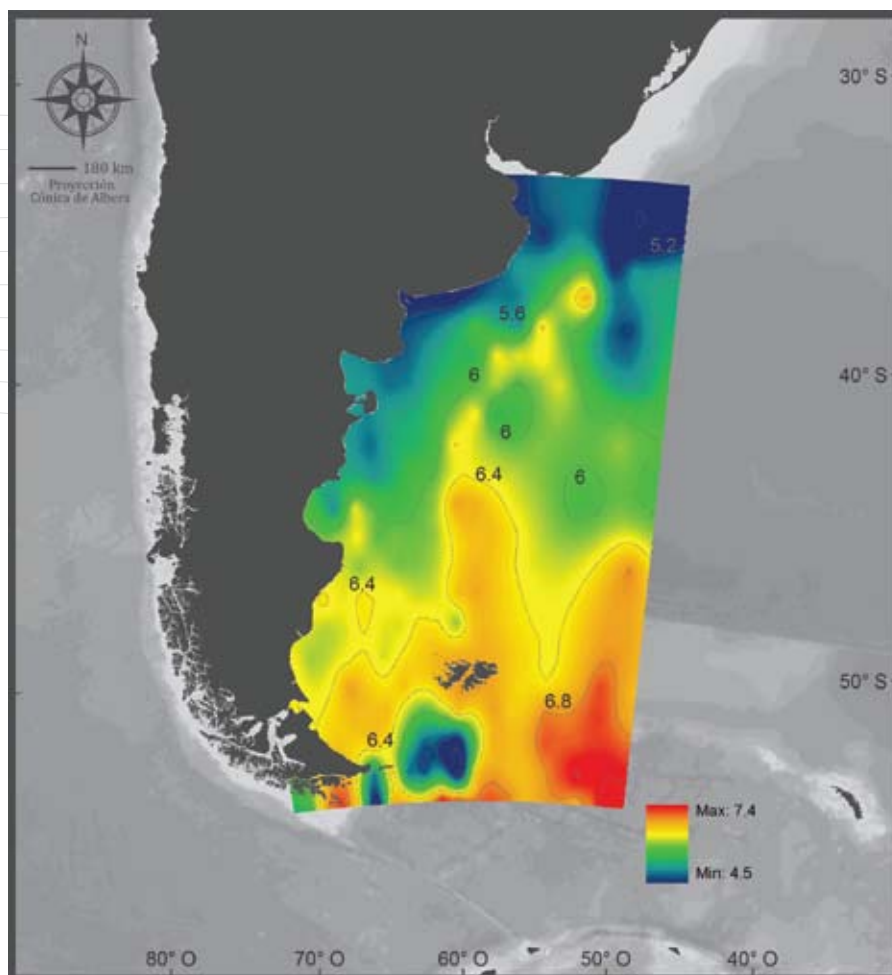
Datos aportados por Piola, A. (SHN-UBA-CONICET), climatología de Casey y Cornillon (1999) y provistos por NASA (podaac.jpl.nasa.gov). *Síntesis del estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia* (2008).

Temperatura del mar. La temperatura superficial del Mar Patagónico presenta un ciclo estacional comandado por variaciones de la radiación solar, nubosidad, vientos y corrientes marinas. En el mapa de temperatura estival (promedio del trimestre enero-marzo, en °C) es posible identificar de manera clara el efecto del ingreso de las aguas frías subantárticas de la corriente de Malvinas que se desplaza desde el Sur hacia latitudes templadas del Norte. El efecto de esta corriente está presente durante todo el año en el borde del talud continental.

Al Norte se identifican las aguas cálidas de origen subtropical asociadas a la corriente de Brasil que se desplazan hacia el Sur y otros máximos costeros locales como el Río de la Plata y El Rincón.

Sea Temperature. The surface temperature of the Patagonian Sea follows a seasonal cycle in response to variations in solar radiation, cloud cover, winds and marine currents. On the summer temperature map (°C, January-March average) the effect of the entry of the cold sub-Antarctic waters of the Malvinas Current, which moves northwards towards temperate latitudes, can be clearly identified. The effect of this current is present year round at the edge of the continental slope.

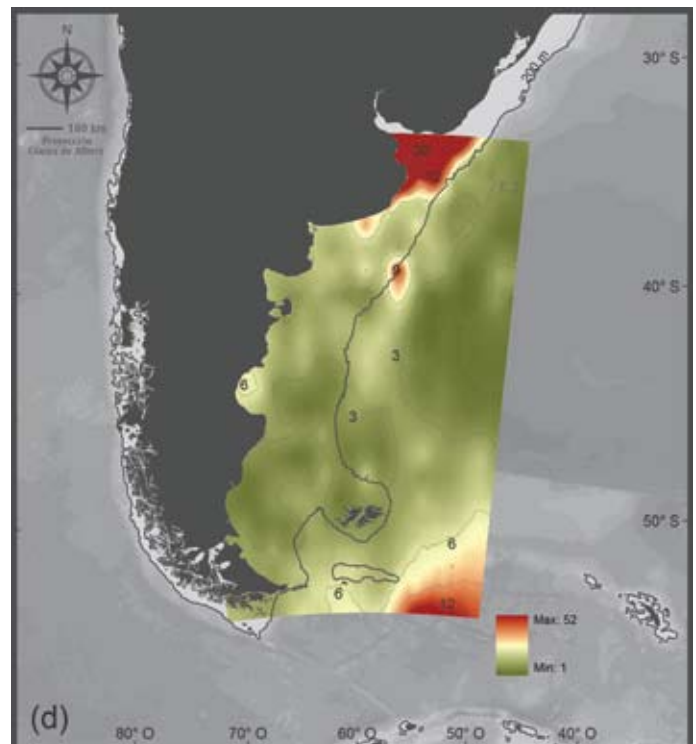
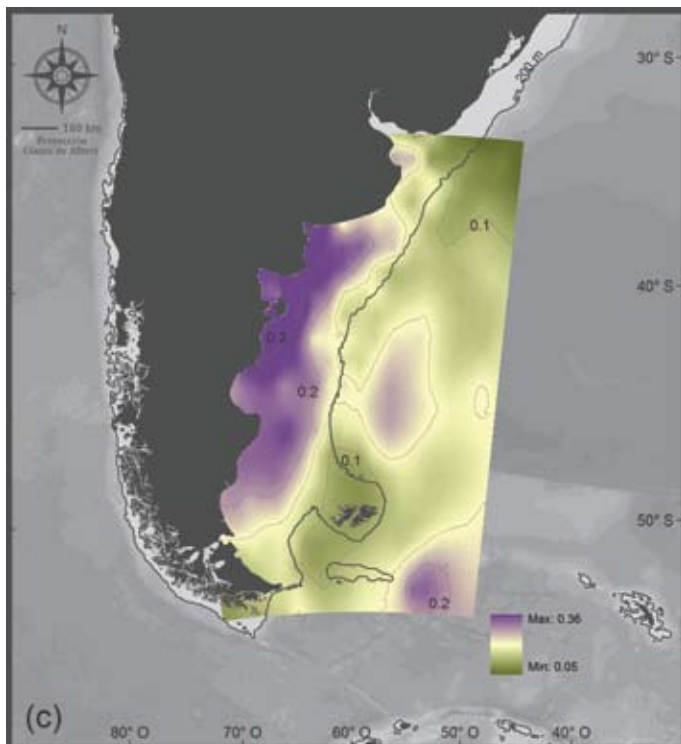
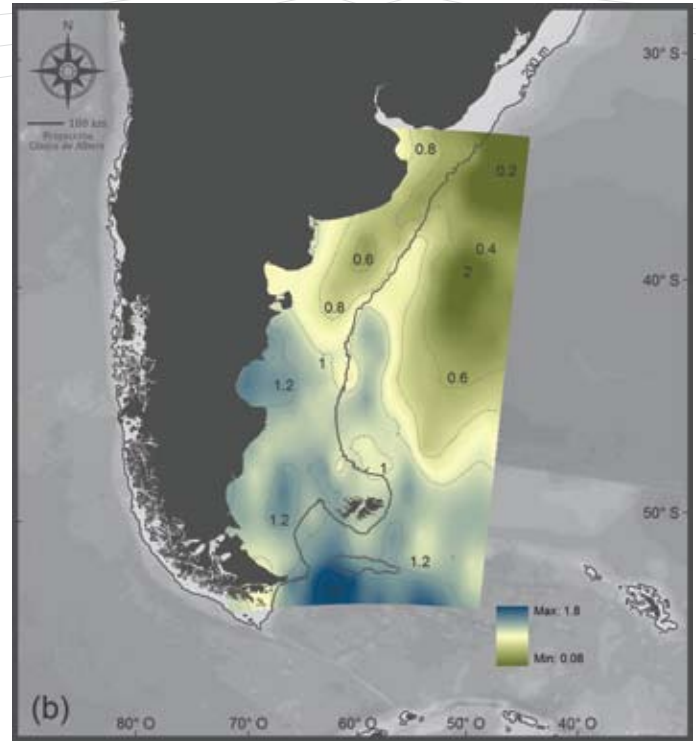
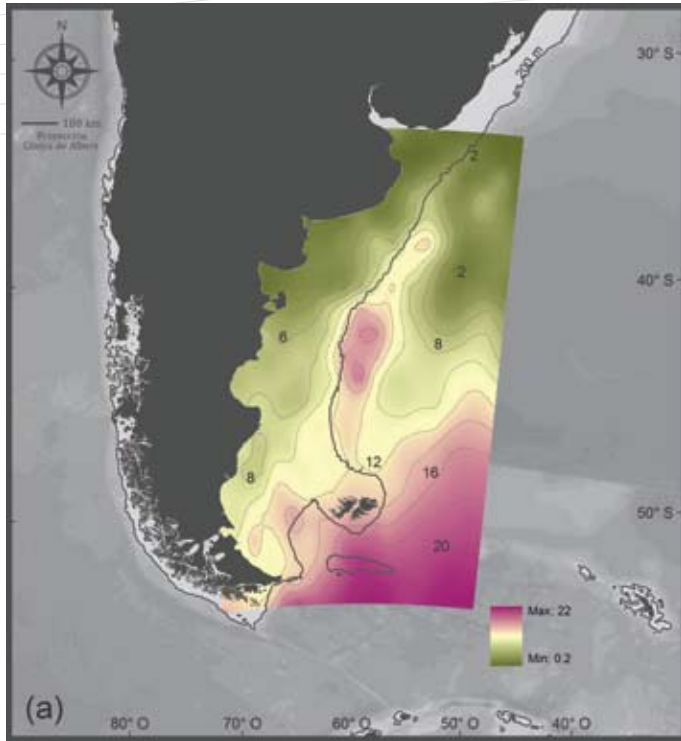
To the north are the warm waters of subtropical origin associated with the Brazil Current that move southwards and other local coastal maxima like the Río de la Plata and El Rincón.



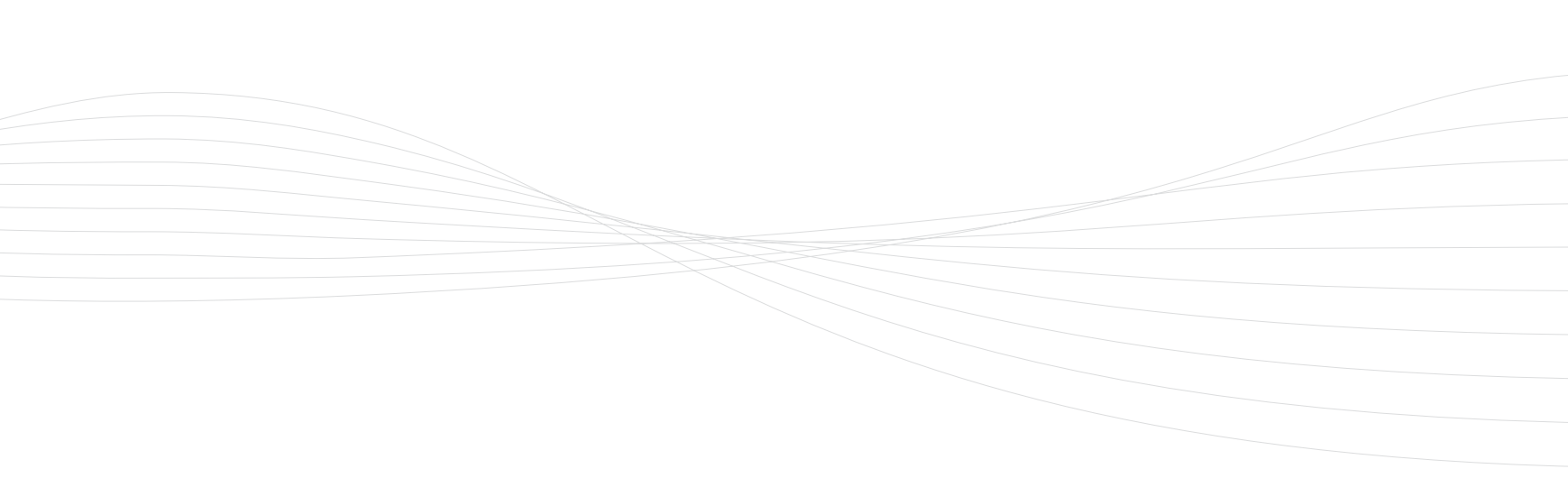
Datos aportados por Piola, A. (SHN-UBA-CONICET).

Oxígeno. El oxígeno disuelto en el mar se origina en la atmósfera y en la actividad fotosintética de las algas. Su concentración depende de la presión parcial del gas, la temperatura y la salinidad del agua. En el mapa se presenta la distribución de oxígeno en el verano austral (promedio trimestral enero-marzo, isolíneas de O_2 cada 0,4 ml/l). Al relacionar el mapa de temperatura (izquierda) con el mapa de distribución de oxígeno disuelto es posible identificar la clara relación entre ambas variables. Las zonas de alta concentración de oxígeno (amarillos y naranjas) coinciden con las aguas frías de la corriente de Malvinas, y las áreas de concentración más baja (en azul), con las aguas cálidas de la corriente de Brasil.

Oxygen. The oxygen dissolved in the sea originates in the atmosphere and in algal photosynthesis. Its concentration depends on the partial pressure of the gas, temperature and salinity of the water. The map shows oxygen distribution in the southern summer (January-March average, isolines of O_2 per 0.4 ml/l). By comparing the temperature map (left) with the dissolved oxygen distribution map a clear relationship between both variables is apparent. The zones of high oxygen concentration (yellow and orange) coincide with the cold waters of the Malvinas Current, and the areas of lower concentration (blue) with the warmer waters of the Brazil Current.

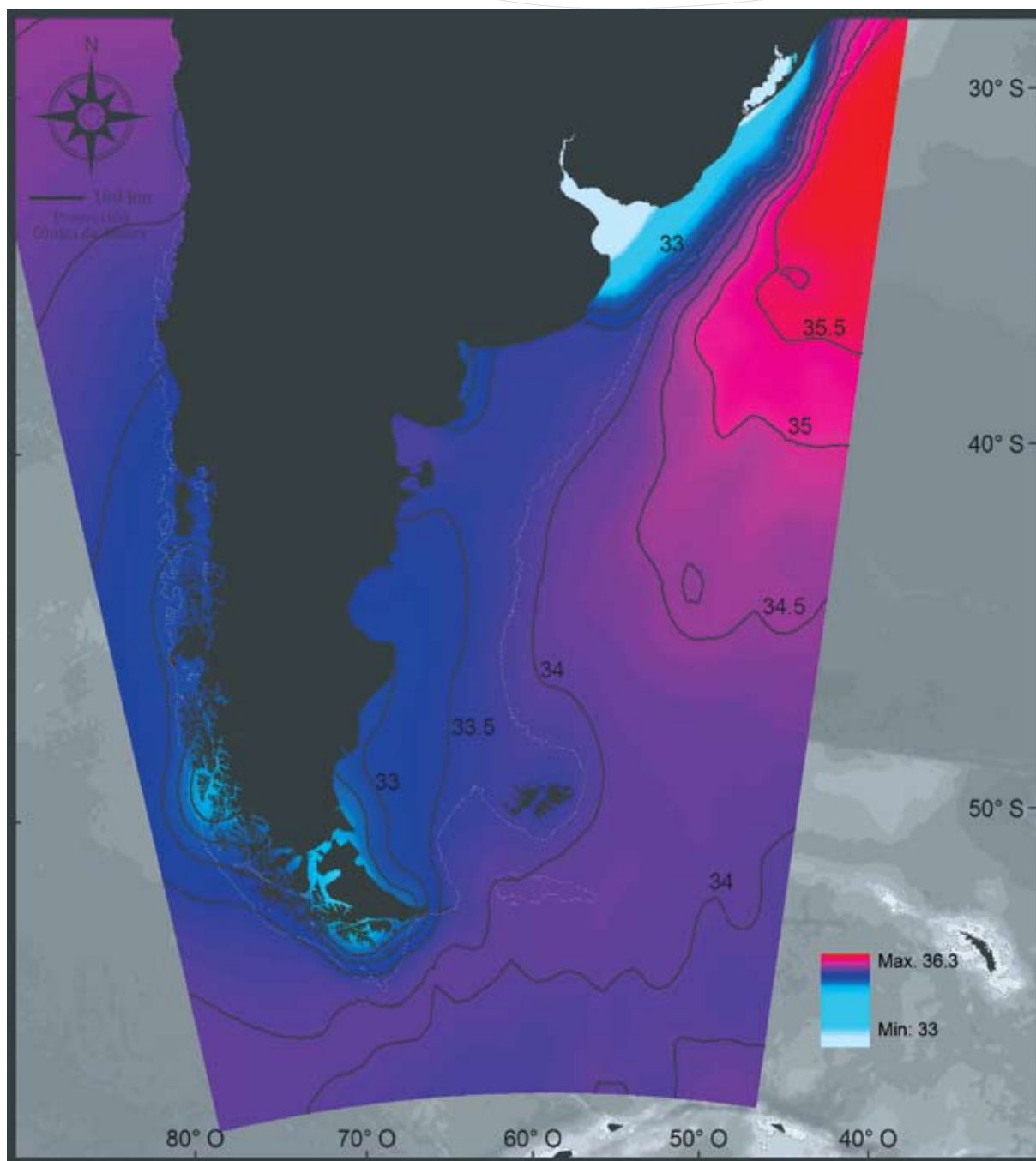


Datos históricos compilados por el Centro Argentino de Datos Oceanográficos, aportados por Piola, A. (SHN-UBA-CONICET).

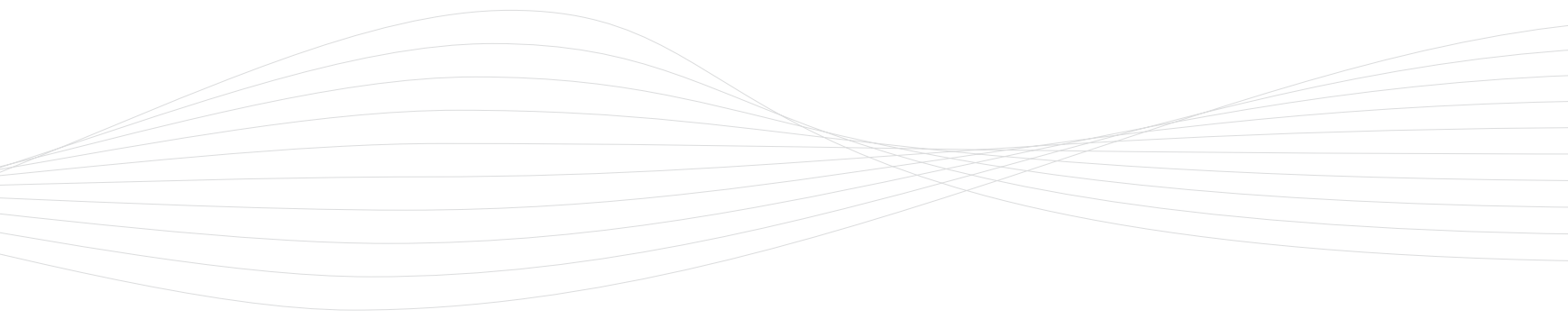


Nutrientes. El desarrollo del fitoplancton depende de la luz y de la disponibilidad de nutrientes disueltos en el mar: nitratos, nitritos, fosfatos y sílice, entre otros. Una de las fuentes principales de nutrientes en el Mar Patagónico son las aguas subantárticas de la corriente de Malvinas. Los mapas muestran la distribución de nitratos (a), fosfatos (b), nitritos (c) y silicatos (d) en $\mu\text{mol/kg}$. El ingreso de nitratos y fosfatos al sistema se relaciona directamente con el aporte que realiza esta corriente. La fuente de algunos nutrientes no ha sido claramente identificada, como en el caso de los nitritos (c). La descarga continental constituye otra fuente potencial de nutrientes: el silicato (d) ingresa al mar por el Río de la Plata, o en menor medida, por la corriente de Malvinas. Poco se sabe de la fuente de micronutrientes, como el hierro, en la plataforma continental.

Nutrients. The development of phytoplankton depends on the light and availability of nutrients dissolved in the sea, including nitrates, nitrites, phosphates and silica. The sub-Antarctic waters of the Malvinas Current provide one of the main sources of nutrients in the Patagonian Sea. The maps show distribution of nitrates (a), phosphates (b) nitrites (c) and silicates(d) in $\mu\text{mol/kg}$. The entry of nitrates (a) and phosphates (b) into the system is related directly to the contribution made by this current. The source of certain nutrients, such as nitrites (c), has not been clearly identified. Continental discharge is another potential source of nutrients, such as silicate (d), which enters the sea via the Río de la Plata, and to a lesser extent in the Malvinas Current. Little is known of the source of micronutrients such as iron in the continental shelf.

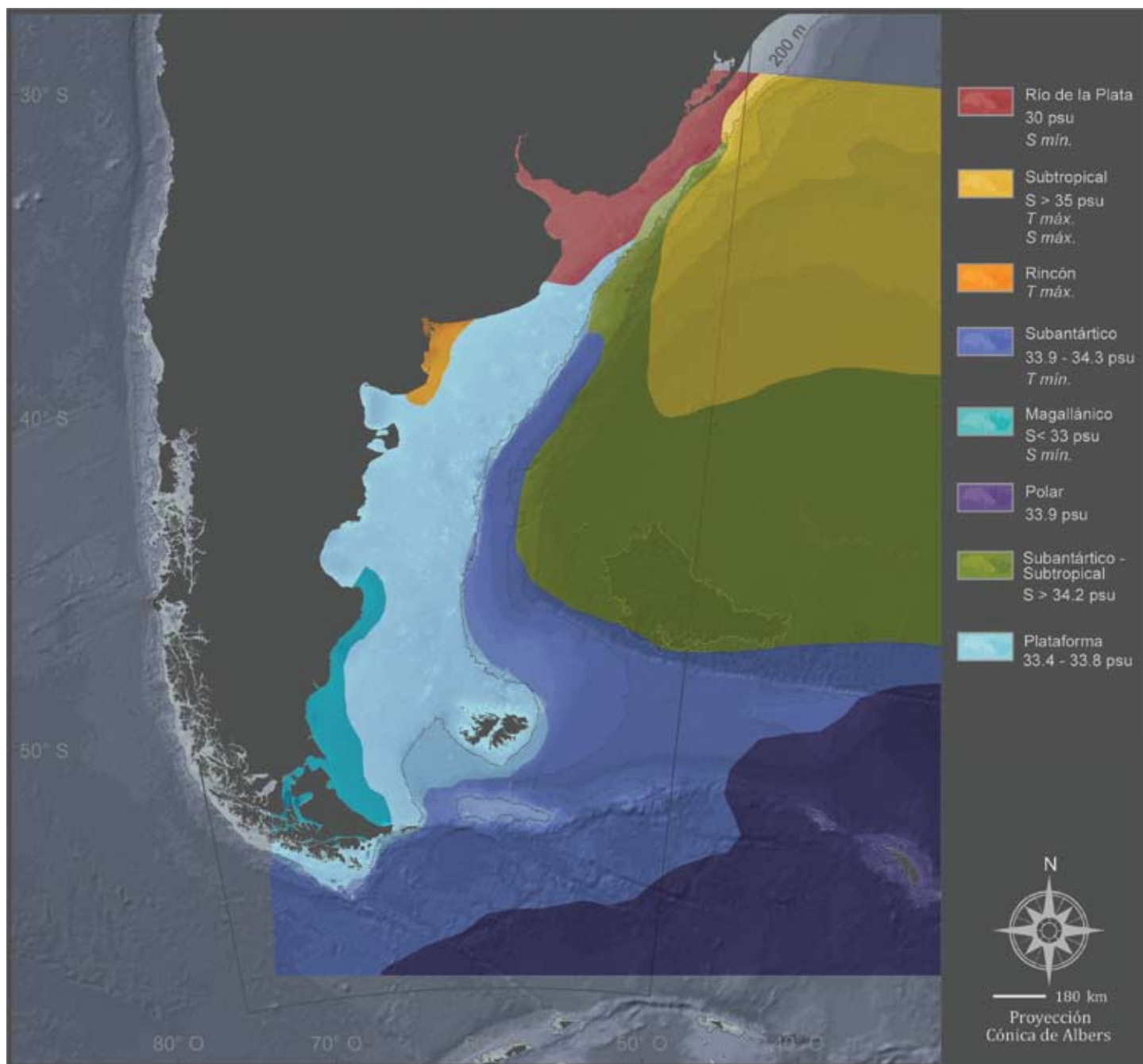


Datos históricos compilados por el Centro Argentino de Datos Oceanográficos, aportados por Piola, A. *Síntesis del estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia* (2008).



Salinidad. La salinidad superficial responde al equilibrio entre la evaporación, la precipitación, el aporte de corrientes y de ríos con diferentes características físico-químicas, y a los procesos de mezcla oceánica. El mapa presenta la distribución media anual de salinidad superficial. La mayor parte del Mar Patagónico se encuentra bajo la influencia de aguas subantárticas diluidas por descarga continental que se originan en el Pacífico sudeste e ingresan desde el Sur –a través del Estrecho de Magallanes–, y con la corriente de Malvinas. En la zona norte, se destacan el ingreso de aguas salinas a través de la corriente de Brasil y la descarga de aguas continentales del Río de la Plata, lo que genera frentes salinos de importancia biológica.

Salinity. Surface salinity corresponds to the equilibrium between evaporation, precipitation, the contribution of currents and rivers with different physico-chemical characteristics and to the oceanic mixing processes. The map shows the mean annual distribution of surface salinity. Most of the Patagonian Sea falls under the influence of sub-Antarctic waters, diluted by continental discharge, which originate in the southeastern Pacific and enter through the Magellan Straits and with the Malvinas Current. In the northern zone, the discharge of continental waters from the Río de la Plata and the saline waters introduced with the Brazil Current, generate biologically important saline fronts.



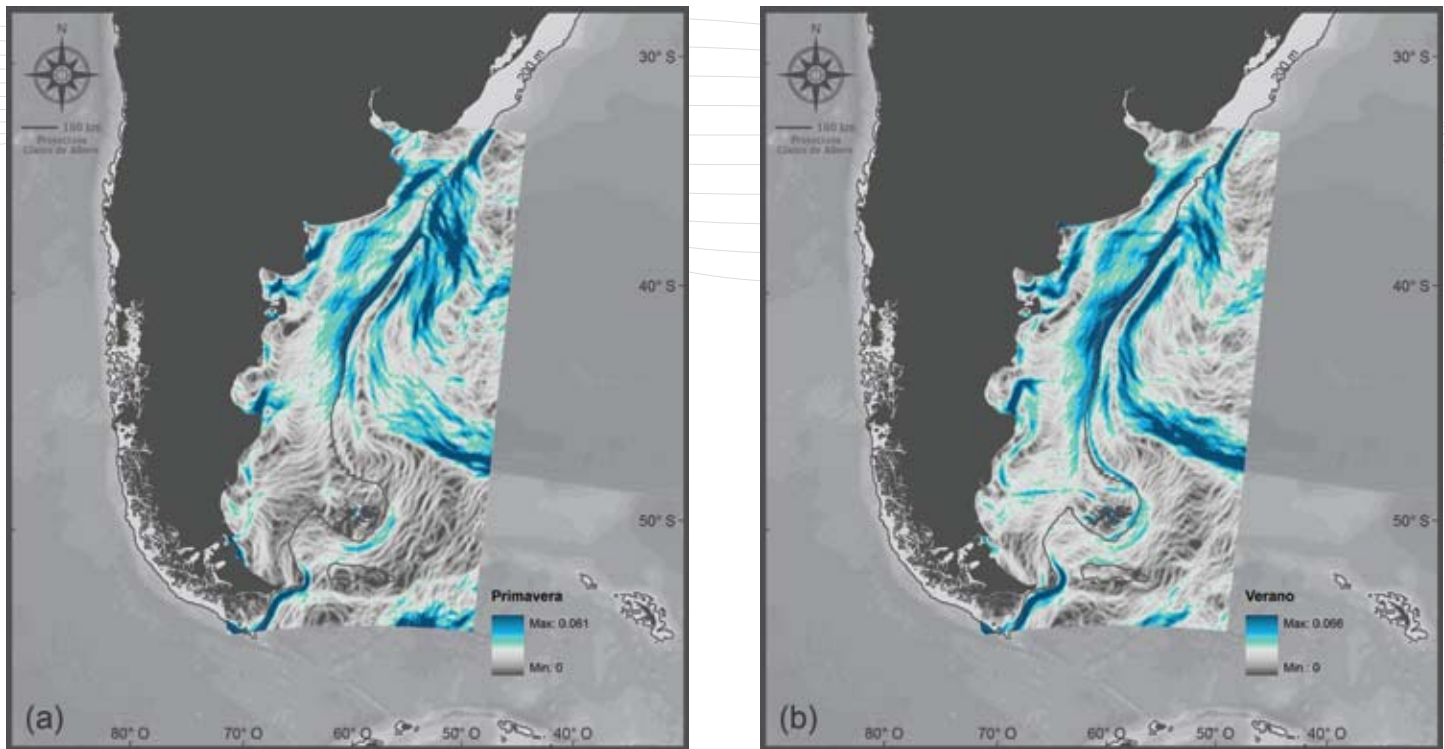
Datos aportados por Piola, A. (SHN-UBA-CONICET). *Síntesis del estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia* (2008).

Regímenes oceanográficos. Basados en las propiedades de las aguas superficiales (principalmente temperatura y salinidad), la estratificación vertical, los frentes oceánicos y la circulación marina, es posible identificar en el Mar Patagónico regímenes oceanográficos con características físicas distintivas y relativamente estables.

Los regímenes del Río de la Plata, Magallanes y El Rincón corresponden a frentes costeros asociados a ríos y descargas de agua dulce o de baja salinidad. La plataforma se compone principalmente de aguas de origen subantártico diluidas por descarga continental. Las aguas del régimen Subtropical ingresan a la región por la corriente de Brasil y se caracterizan por ser cálidas y de alta salinidad (mayor a 35 unidades de salinidad). El régimen Subantártico-Subtropical corresponde a una zona de transición relativamente variable, con presencia de remolinos por la colisión de aguas subtropicales de la corriente de Brasil y aguas subantárticas de la corriente de Malvinas. La región se caracteriza por concentraciones medias de clorofila. Una vasta región de aguas subantárticas se extiende desde el borde del talud hacia el Este. Sus aguas ingresan por la corriente de Malvinas, son relativamente frías, bajas en salinidad y con alta concentración de nutrientes. El régimen Polar se ubica al sur de la isohalina de 33.9, cercana al Frente Polar Antártico. Sus aguas son frías ($< 4\text{ }^{\circ}\text{C}$), de baja salinidad y alta concentración de nutrientes. El frente del talud corresponde a una transición angosta entre las aguas subantárticas de la plataforma continental y el borde oeste de las aguas de la corriente de Malvinas. Esta zona se caracteriza por valores máximos de clorofila-a en verano.

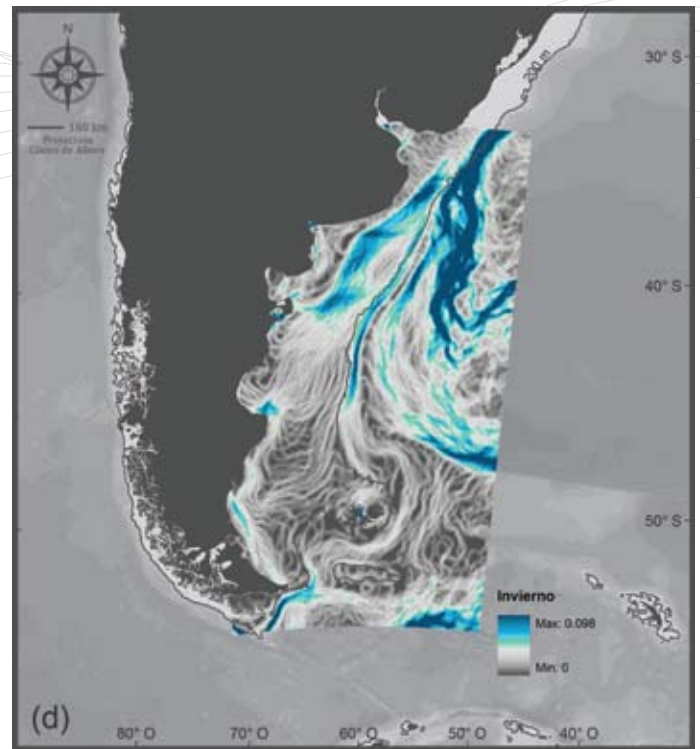
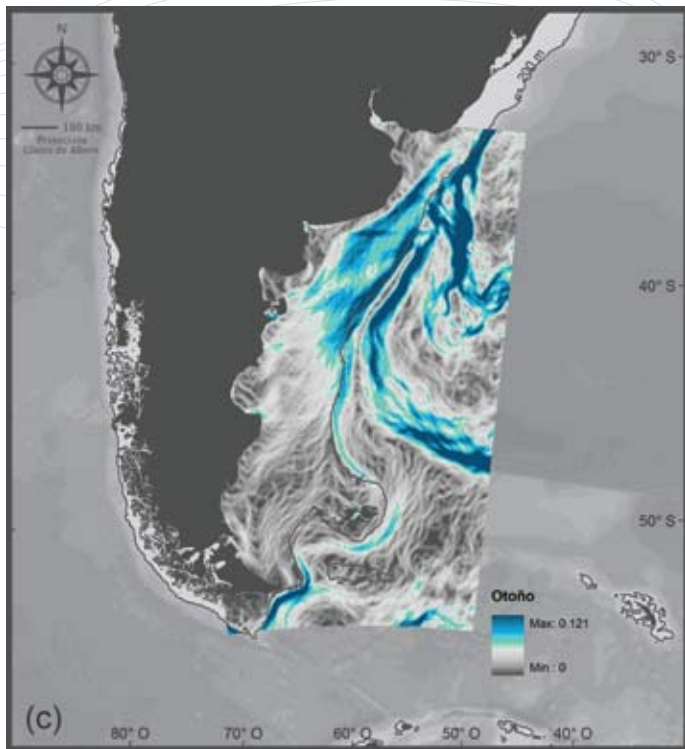
Oceanographic Regimes. Based on the properties of surface waters (mainly temperature and salinity), vertical stratification, ocean fronts and marine circulation, it is possible to identify in the Patagonian Sea oceanographic regimes with distinctive and relatively stable characteristics.

The Río de la Plata, Magellan and El Rincón regimes correspond to coastal fronts associated with rivers and discharges of fresh or low salinity waters. The Shelf mainly comprises waters of sub-Antarctic origin diluted by continental discharge. The waters of the Subtropical regime enter the region with the Brazil Current and are characterised as being warm with high salinity (above 35 salinity units). The sub-Antarctic-Subtropical regime corresponds to a relatively variable transition zone with the presence of eddies created by the collision of the subtropical waters of the Brazil Current, and the sub-Antarctic waters of the Malvinas Current. The region is characterised by average chlorophyll concentrations. A vast region of sub-Antarctic waters extends from the edge of the slope eastwards. Its waters enter with the Malvinas Current, are relatively cold, low in salinity and with a high nutrient concentration. The Polar regime is located to the south of the 33.9 isohaline, close to the Antarctic Polar Front. Its waters are cold ($< 4\text{ }^{\circ}\text{C}$), with low salinity and high nutrient concentration. The slope front corresponds to a narrow transition zone between the sub-Antarctic waters of the continental shelf and the western edge of the waters from the Malvinas Current. This area is characterised by maximum values of chlorophyll-a in summer.

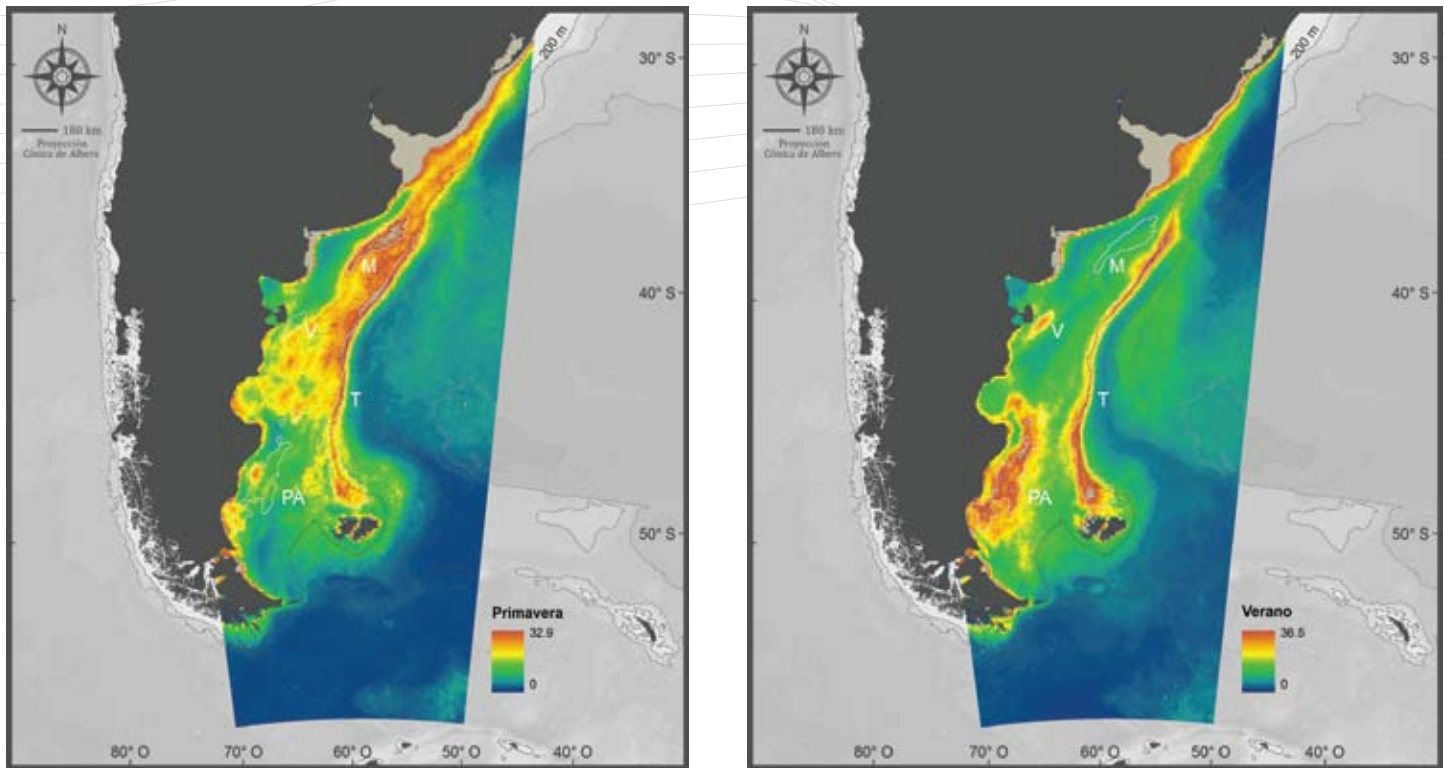


Datos aportados por Piola, A. (SHN-UBA-CONICET). *Síntesis del estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia* (2008).

Frentes oceánicos y temperatura superficial del mar. Los frentes térmicos oceánicos se manifiestan como áreas de cambios abruptos (máximos gradientes) de la temperatura superficial del mar. Los mapas presentan el gradiente horizontal de temperatura superficial en promedios trimestrales de primavera (a), verano (b), otoño (c) e invierno (d) en °C/km. En azul oscuro se identifican las áreas de mayor gradiente. En el Mar Patagónico se destacan los frentes paralelos al talud entre los 39° y 46°S, donde ocurre la transición entre aguas de la plataforma continental y de la corriente de Malvinas. También se identifican frentes en áreas costeras, en especial al este de los golfos San Matías y San Jorge. Durante la primavera (octubre-diciembre) y el verano (enero-marzo) estos frentes se intensifican y coinciden con áreas de alta productividad biológica. En otoño (abril-junio) e invierno (julio-septiembre) los frentes de la plataforma interior son de baja intensidad y solo son evidentes los frentes asociados al talud, a la plataforma media al Norte de 42°S y a la zona de transición Subtropical-Subantártica en la Confluencia Brasil-Malvinas.



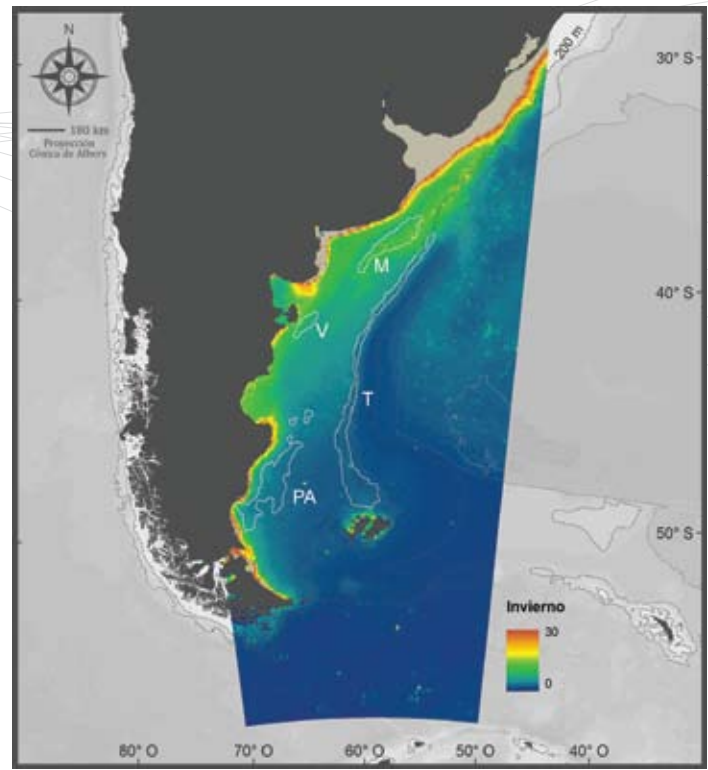
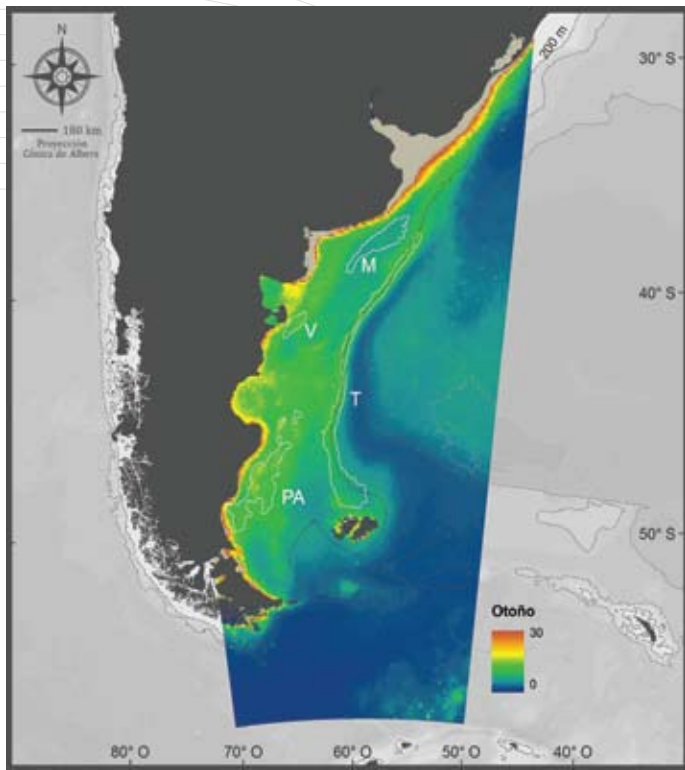
Ocean Fronts and Sea Surface Temperature. Oceanic thermal fronts are seen as areas of abrupt changes (maximum gradients) in sea surface temperature. The maps show the horizontal temperature gradient in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d), in °C/km. The areas of highest gradient are shown in dark blue. In the Patagonian Sea the fronts parallel to the slope between 39° and 46°S stand out. This is where the transition between waters of the continental shelf and of the Malvinas Current occurs. Fronts are also observed in coastal areas, especially to the east of the Gulfs of San Matías and San Jorge. During the spring (October–December) and the summer (January–March), these fronts intensify and coincide with areas of high biological productivity. In autumn (April–June) and winter (July–September) the inner shelf fronts are less intense, and only the fronts associated with the slope, with the mid-shelf north of 42°S, and with the Subtropical-sub-Antarctic transition zone in the Brazil-Malvinas Confluence are evident.



Datos provistos por el Proyecto SeaWiFS (Code 970-2) y el Distributed Active Archive Center (Code 902) del Goddard Space Flight Center, NASA. Aportados por Carranza, M., S. Romero y Piola, A. (SHN – UBA – CONICET). *Síntesis del estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia* (2008). Concentración de clorofila-a en mg/m^3 . Frentes oceánicos: frente del talud (T), plataforma media (M), Valdés (V) y Patagonia Austral (PA).

Productividad. Las imágenes satelitales del océano en color pueden utilizarse para calcular la concentración de clorofila-a presente en el fitoplancton y así estudiar el nivel de productividad oceánica. El Mar Patagónico constituye un ambiente marino altamente productivo, con valores de abundancia de fitoplancton aproximadamente tres veces mayor a la media registrada en el resto de los océanos. El fitoplancton no se distribuye en forma homogénea, sino que presenta mayor concentración en regiones limitadas, asociadas a los frentes oceánicos. Además del fitoplancton, en los frentes se concentra una variedad de especies del zooplancton así como especies de interés pesquero y sus predadores: las aves y los mamíferos marinos que ocupan el último eslabón en la cadena alimentaria.

Productivity. Colour satellite images of the ocean can be used to calculate the concentration of chlorophyll-a in phytoplankton, and thus study the level of oceanic productivity. The Patagonian Sea is a highly productive marine environment with approximately three times greater abundance of phytoplankton than the mean recorded for the world's ocean. Phytoplankton is not distributed homogeneously but there is greater concentration in limited areas associated with ocean fronts. Besides phytoplankton, a variety of zooplankton species concentrate in the fronts, as well as species of fishing interest and their predators: seabirds and marine mammals, that occupy the upper links in the food chain. Ocean fronts: slope (T), mid-shelf (M), Valdés (V) and Patagonia Austral (PA) fronts.



Productividad y frentes. Existe variación estacional en la concentración de clorofila. Sin embargo, la localización de los frentes es predecible en el tiempo y estable en el espacio. Esto se debe a que los frentes se encuentran estrechamente vinculados a rasgos del fondo marino.

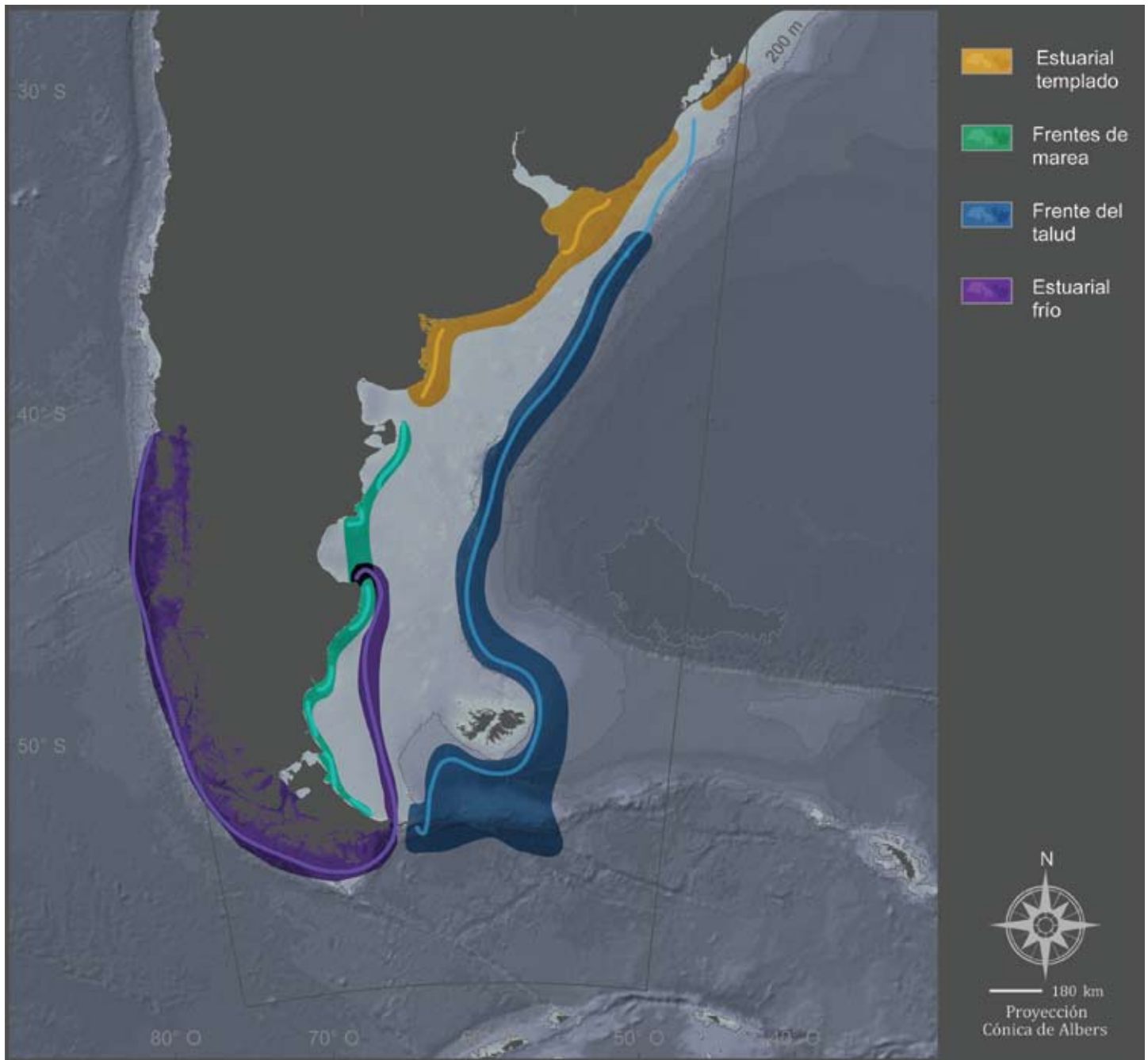
Los frentes oceánicos presentan valores máximos de productividad durante las estaciones de primavera y verano, destacándose el frente del talud (T), plataforma media (M), Valdés (V) y Patagonia Austral (PA).

Algunas de estas áreas, particularmente en la plataforma y en el talud, absorben grandes cantidades de dióxido de carbono atmosférico, contribuyendo a mitigar los efectos del calentamiento global.

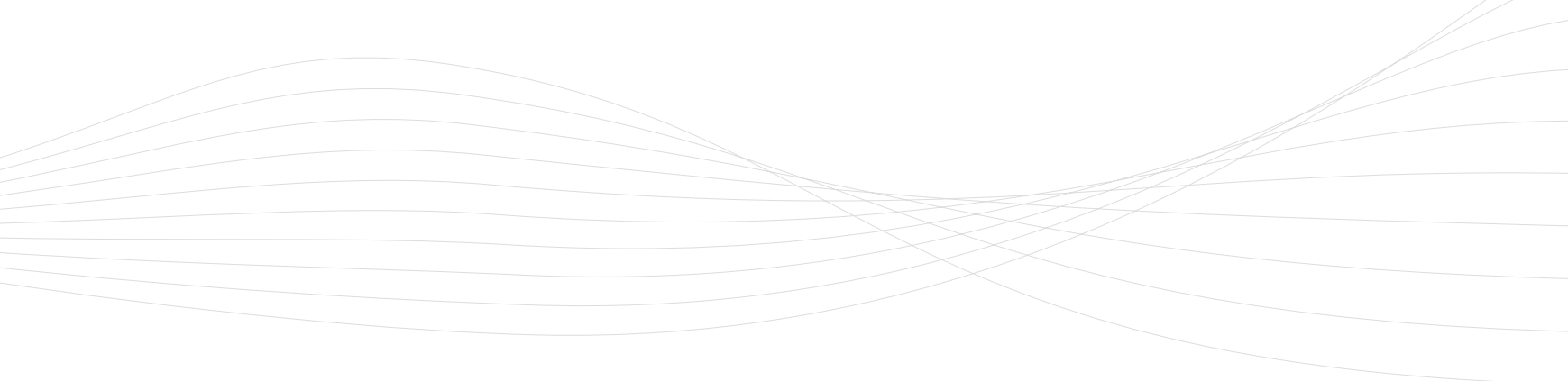
Productivity and Fronts. Chlorophyll concentrations undergo seasonal variations. However, the location of the fronts is predictable over time and stable in space. This is due to the fact that the fronts are closely linked to features of the seabed.

Ocean fronts reveal maximum productivity values during the spring and summer, especially on the slope (T), mid-shelf (M), Valdés (V) and Patagonia Austral (PA) fronts.

Several of these areas, particularly at the shelf and slope, absorb large quantities of atmospheric carbon dioxide and help mitigate the effects of global warming.



Mapa modificado de Acha, E. M. et al. (2004).



Áreas frontales. Diversos procesos (corrientes, rasgos del fondo, vientos, mareas, diferencias de salinidad o temperatura) generan una mezcla vertical de las aguas que favorece el ascenso a la superficie de aguas ricas en nutrientes. Así se generan las áreas frontales, asociadas a alta producción fitoplanctónica. Los frentes de marea separan aguas costeras, mezcladas verticalmente, de aguas de plataforma media que en verano se encuentran fuertemente estratificadas. Los frentes oceánicos (como el del talud) están estrechamente vinculados a rasgos del fondo marino. Otros frentes significativos están asociados a los ríos y a descargas de baja salinidad, como los frentes estuariales de menor densidad que el agua de la plataforma. Las áreas frontales coinciden con la ubicación geográfica de los florecimientos de fitoplancton.

Frontal Areas. Various processes (currents, features of the seabed, winds, tides, differences in salinity or temperature) create vertical mixing of the waters, thus favouring the ascent to the surface of nutrient-rich waters. This produces frontal areas, associated with high phytoplankton production. Tidal fronts separate vertically mixed coastal waters from mid-shelf waters, which are strongly stratified in summer. Ocean fronts (such as the slope front) are closely linked to features of the seabed. Other significant fronts are associated with rivers and low-salinity discharges, such as estuary fronts of lower density than the water at the shelf. The frontal areas coincide with the geographical location of phytoplankton blooms.