



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible
Argentina

Base de datos batimétrica, superficie batimétrica generada a través de la interpolación y variables topográficas derivadas para las áreas de Frente Valdés y Golfo San Jorge

Año 2021

Enfoque ecosistémico de la pesca
y áreas marinas protegidas



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA

PROYECTO:

Fortalecimiento de la Gestión y Protección de la Biodiversidad Costero Marina en Áreas Ecológicas clave y la Aplicación del Enfoque Ecosistémico de la Pesca (EEP)

Base de datos batimétrica, superficie batimétrica generada a través de la interpolación y variables topográficas derivadas para las áreas de Frente Valdés y Golfo San Jorge

Recopilación, organización y generación de información de base para la cartografía de especies bentónicas y hábitats en 4 áreas clave del Mar Argentino

Consultora Especialista en Oceanografía y Cartografía
Noela Sánchez Carnero

Citar como:

Sánchez-Carnero, N. 2021. Base de datos batimétrica, superficie batimétrica generada a través de la interpolación y variables topográficas derivadas para las áreas de Frente Valdés y Golfo San Jorge. Informe del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, FAO y FMAM. Proyecto "Fortalecimiento de la Gestión y Protección de la Biodiversidad Costero Marina en Áreas Ecológicas Clave y la Aplicación del Enfoque Ecosistémico de la Pesca (EEP)" (Argentina). 55 pág.

Las fotografías e imágenes del presente informe no pueden reproducirse sin autorización previa de su autor/a.

Resumen

El presente informe describe las fuentes de datos relativos a las características topográficas del fondo disponibles para las áreas del Golfo San Jorge y el Frente Valdés, detalla la metodología seguida para su depuración y corrección (atendiendo a las particularidades de cada base de datos), así como los métodos utilizados para el cálculo, a partir de estas bases de datos, de las superficies batimétricas y las variables topográficas derivadas de las mismas. Por último, se presentan cada una de estas bases de datos depuradas y superficies generadas, incluyendo una breve descripción y un mapa de cada una de ellas.

Índice

1. Introducción
 - 1.1 Información batimétrica
 - 1.2 Áreas de interés
 - 1.2.1 Área **Frente Valdés**
 - 1.2.2 Área **Golfo San Jorge**
 - 1.3 Sistema de coordenadas

2. Fuentes de información batimétrica disponibles
 - 2.1 Cartas náuticas
 - 2.2 Datos acústicos: campañas oceanográficas y pesqueras
 - 2.3 Datos procedentes de otras fuentes

3. Depuración y corrección de datos
 - 3.1 Bases batimétricas: generación y homogenización
 - 3.2 Corrección de marea
 - 3.3 Corrección del efecto de movimiento de la embarcación
 - 3.4 Armonización de referencias batimétricas y eliminación de fuentes con fuertes desviaciones

4. Generación de superficies batimétricas
 - 4.1 Algoritmo de interpolación
 - 4.2 Depuración de errores sistemáticos y eliminación de datos erróneos
 - 4.3 Filtrado de la superficie interpolada
 - 4.4 Validación de la superficie obtenida
 - 4.5 Interpolación fractal de la superficie
 - 4.6 Cálculos de variables topográficas derivadas de la batimetría

5. Presentación de resultados para las áreas de estudio

5.1 Área de interés **Frente Valdés**

5.1.1 Base de datos batimétrica

5.1.2 Superficie batimétrica

5.1.3 Variables topográficas derivadas

5.2 Base del área de interés **Golfo San Jorge**

5.2.1 Base de datos batimétrica

5.2.2 Superficie batimétrica

5.2.3 Variables topográficas derivadas

Referencias

1. Introducción

1.1 Información batimétrica

La información batimétrica constituye un elemento clave para el conocimiento de los fondos marinos. Ya sea que el estudio se centre en geomorfología cercana a la costa (Finkl *et al.*, 2005), hidrología y procesos sedimentarios (Jaffe *et al.*, 2007; Klemas, 2009), pesca (Nishida *et al.*, 2001), efectos de tormentas y tsunamis (Matsuyama *et al.*, 1999), exploración minera (Basu y Malhotra, 2002), ecología (Stocks *et al.*, 2004; Wedding *et al.*, 2008) o sobre el desarrollo de modelos hidrodinámicos (Van Rijn *et al.*, 2003; Sutherland *et al.*, 2004), una batimetría detallada es una primera pieza indispensable para avanzar en el conocimiento sobre los procesos bentónicos.

Para satisfacer la necesidad de batimetrías precisas y generadas rápidamente, las técnicas de medición de profundidad han evolucionado durante el último siglo, desde el uso de una línea de plomo anudada hasta ecosondas de haz único basadas en sonar, sonares de barrido múltiple y lateral, LiDAR (*Light Detection And Ranging*), sistemas de escaneo de líneas láser (Basu y Malhotra, 2002) o tecnologías de imágenes por satélite (Lee *et al.*, 2010).

De forma general, para obtener batimetrías precisas es necesario contar con una elevada densidad de sondas (puntos geográficos con valores de profundidad asociados) que permitan una interpolación precisa de una superficie batimétrica. Esta densidad puede obtenerse mediante el uso de técnicas acústicas y ópticas de alta resolución (estos últimos exclusivamente para áreas someras).

Los métodos acústicos son el estándar para el levantamiento batimétrico desde los 1980's (Anderson *et al.*, 2008). Hasta hace pocos años los sistemas más utilizados eran las sondas monohaz y haz partido, con gran precisión vertical pero que obtienen datos casi continuos a lo largo de transectas separadas hasta centenares de metros, lo que obliga a realizar interpolaciones que implican la pérdida de detalle en la batimetría (Sánchez-Carnero *et al.*, 2011). A partir de los años 2000 se comenzó a popularizar el uso de las sondas acústicas *multibeam*, que cuentan con tecnología que permite emular el uso de decenas y hasta centenares de haces estrechos, permitiendo una resolución espacial y vertical muy elevada (hasta centimétrica) y una cobertura total (siempre que las transectas sean diseñadas con ese objetivo).

A pesar de su elevada resolución potencial las sondas acústicas *multihaz* e incluso las de haz simple no pueden dar respuesta a la necesidad de datos batimétricos cuando las áreas son muy amplias. Para una cobertura con una sonda *multibeam* de un área de unos 52000 km² (como el área del Frente Valdés definida en este trabajo), suponiendo una

profundidad media de 100m, requeriríamos aproximadamente 300 días de toma de datos ininterrumpida.

Por esta razón cuando las áreas de interés son muy amplias y hacen un muestreo *ad hoc* inabordable se tiende al uso conjunto de información procedente de fuentes diversas, que permita la mayor cobertura posible. Con este objetivo en este trabajo se construyeron bases de datos batimétricos para cada una de las dos áreas de interés mediante la recopilación de los datos disponibles a través de todas las fuentes consultadas. Aunque el uso de diversas fuentes permite aumentar la densidad de datos y cubrir áreas más amplias, es necesario tener en cuenta que al tratarse de datos que han podido ser adquiridos con diferentes métodos, y tratados siguiendo procedimientos distintos, es necesario realizar tareas tanto de corrección como de homogenización de cada una de estas fuentes de datos (Sección 3). Todos estos aspectos son tratados en el presente documento.

1.2 Áreas de interés

Se establecieron cuatro áreas de interés para el desarrollo de este trabajo: Frente Marítimo del Río de la Plata (FMRP), Frente Valdés (FV), Golfo San Jorge (GSJ) y Área Marina Protegida Namuncurá- Banco Burdwood (AMPNBB). En este informe se presentan únicamente los productos generados para dos de ellas: Frente Valdés (FV) y Golfo San Jorge (GSJ).

Para definir todas estas áreas, como límite área sumergida-área emergida se utilizó la línea de costa presente en la capa poligonal "País" del Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial>).

1.2.1 Área Frente Valdés

En el caso de las áreas Frente Valdés (FV) y Golfo San Jorge (GSJ), no existe una definición oficial de las mismas que se adapte a las necesidades de este proyecto, por lo que se definieron áreas de trabajo particulares.

El Frente de Valdés es un rasgo oceanográfico aproximadamente lineal orientado en sentido NE-SO, que se desarrolla en la Plataforma Continental Argentina (PCA) de forma subparalela a la costa adyacente a la Península Valdés, y cuyos límites son aproximadamente el paralelo 42° S en el norte y el paralelo 43°S (Pisoni et al., 2015). En esta región, sumada a otra algo más al sur cercana a la costa de la provincia de Chubut (Corredor Chubut), se desarrolla estacionalmente un área de elevada productividad biológica que sustenta actividades pesqueras. No existe por tanto un área particular del Frente Valdés y este, además, observa desplazamientos temporales.

Con el fin de contener toda el área de mayor interés se utilizó una región que incluye el área de la PCA en donde se desarrolla el Frente Valdés y su extensión austral en el Corredor Chubut. Los límites de esta área fueron los mismos que se utilizaron en el marco del subproyecto “Caracterización a gran escala de la batimetría y tipos de fondo del Frente de Valdés” dentro del proyecto “Fortalecimiento de la Gestión y Protección de la Biodiversidad Costero Marina en Áreas Ecológicas clave y la Aplicación del Enfoque Ecosistémico de la Pesca (EEP)”. Así los límites del área FV quedaron definidos como: al norte el paralelo 1,6°S, ubicado aproximadamente 45km al norte de la Punta Norte de la Península de Valdés, al sur el Cabo dos Bahías (paralelo 45°S) y al este la línea que se encuentra aproximadamente 150 km de la línea de costa. El área definida cubre un total de aproximadamente 52000 km² (Figura 1).

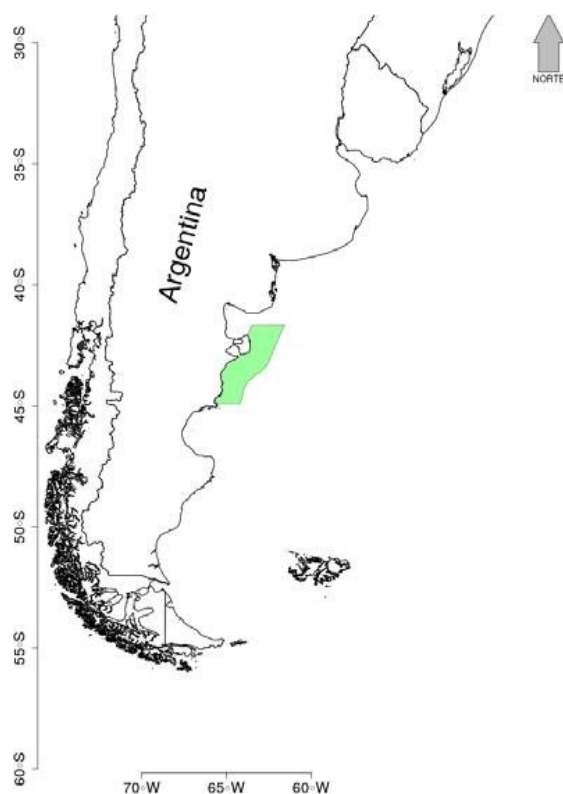


Figura 1. Área del Frente Valdés (en verde)

1.2.2 Área Golfo San Jorge

El Golfo San Jorge es un golfo delimitado al norte por el cabo Dos Bahías ($44^{\circ} 55'S$, $65^{\circ} 31'O$) y al sur por el cabo Tres Puntas ($47^{\circ} 06'S$, $65^{\circ} 51'O$), definiendo una boca de algo más de 240 km y una profundidad de casi 150 km. Aunque esta área contiene la totalidad del GSJ, todos los procesos de interés que en él tienen lugar, desde procesos oceanográficos a pesquerías, se extienden más allá de estos límites. Por esta razón, se definió un área de estudio mayor, que incluyese las zonas adyacentes al GSJ. Esta área quedó delimitada al norte por el Cabo Raso (paralelo $44^{\circ} 20'S$), al Sur por Punta Buque (paralelo $48^{\circ} 05'S$) y al este por una línea N-S coincidente con el meridiano $64^{\circ} W$. El área definida cubre un total de aproximadamente 82382 km^2 (**Figura 2**). Esta zona tiene continuidad hacia el norte con el Frente Valdés.

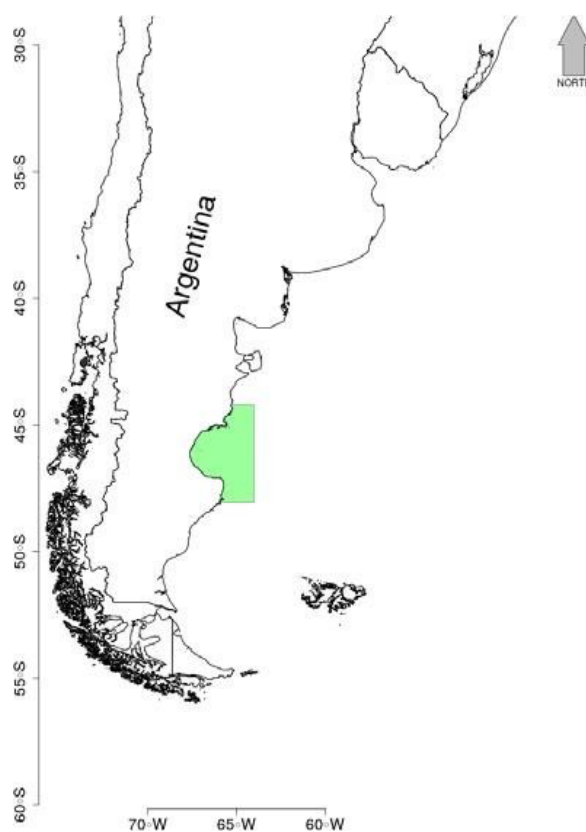


Figura 2. Área del Golfo San Jorge (en verde)

1.3 Sistemas de coordenadas

Todas las capas de información (en formato vectorial o raster) son generadas en coordenadas geodésicas, utilizando el Sistema de Referencia *World Geodesic System* de 1984 (WGS84) y el Marco de Referencia POSGAR07. El POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007) fue adoptado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) como el Marco de Referencia Geodésico Nacional a través de la Disposición N° 20/2009 del 15 de mayo de 2009, reemplazando el hasta entonces vigente POSGAR 94.¹ (Código EPSG:4326) siguiendo las directrices definidas por el Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.gob.ar>).

Además, la información cartográfica se proyectará utilizando el *Universal Transverse Mercator* (UTM), un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal secante a un meridiano. En estos casos se utilizará el huso más conveniente a cada una de las áreas, es decir:

- Frente Valdés (FV): huso 20 S
- Golfo San Jorge (GSJ): huso 19 S

¹ El POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007) fue adoptado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) como el Marco de Referencia Geodésico Nacional a través de la Disposición N° 20/2009 del 15 de mayo de 2009, reemplazando el hasta entonces vigente POSGAR 94 (<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Posgar07>).

2. Fuentes de información batimétrica disponible

2.1 Cartas náuticas

En cualquier parte del mundo, cuando se trabaja con información de fondos marinos la primera fuente de datos de consulta son las cartas náuticas, desarrolladas y mantenidas por los Servicios de Hidrografía Naval de cada país. Estos mapas, que se remontan más de 5 siglos (carta de Tlacotalpa, 1580²) tenían como objetivo único la seguridad en la navegación. Hoy en día, aunque este objetivo sigue siendo el principal no es exclusivo, y en las Cartas Náuticas actualmente se recopila no solo información batimétrica sino también de características del fondo.

En Argentina, el Servicio de Hidrografía Naval (SHN, <http://www.hidro.gov.ar/>) con más de 140 años de historia, cuenta en la actualidad con más de 80 cartas náuticas electrónicas 80 y 196 cartas náuticas en papel del Mar Argentino, que mantiene actualizadas y a disposición tanto de navegantes como de investigadores.

En este trabajo se solicitaron únicamente las cartas náuticas relativas a las áreas de interés, en este caso Frente Valdés y Golfo San Jorge. Tanto en el área del FV como en el GSJ se contó con 6 cartas, cubriendo 1 de ellas la totalidad del área y el resto representando en detalle diferentes subáreas (**Tabla 1**).

² Morato-Moreno, M. (2018). The Map of Tlacotalpa by Francisco Gali, 1580: An Early Example of a Local Coastal Chart in Spanish America. The Cartographic Journal, 55(1), 3-15.

Tabla 1. Cartas náuticas de las áreas de interés (en negrita se marcan las cartas generales que cubren el área completa).

Área	Carta Náutica
Golfo San Jorge	AR203100
	AR303120
	AR40357A
	AR403560
	AR403590
	AR50357B
Frente Valdés	AR202150
	AR302160
	AR302170
	AR302180
	AR402640
	AR402770

Estas cartas náuticas fueron recibidas en formato vectorial IHO S-57 (también conocido como S57). Este formato fue desarrollado por el Comité de Requisitos Hidrográficos de la Organización Hidrográfica Internacional (IHO, 2014) para el intercambio de información vectorial hidrográfica, utilizado generalmente para cartas náuticas. Los archivos de datos individuales de S57 tienen una extensión de *.000 en su versión inicial. A estos se añaden archivos con extensiones correlativas *.001, *.002, etc a medida que se realizan actualizaciones de los datos. De este modo se facilita el mantenimiento de la información actualizada sin necesidad de editar los archivos originales.

Para la lectura y extracción de los datos de sondas presentes en estos archivos se utilizó la herramienta ogr2ogr de la *suite* de utilidades geoespaciales GDAL y un script *ad hoc* para depurarlos y convertirlos a un formato CSV con datos en columnas XYZ.

Todos los datos de profundidad extraídos de las cartas náuticas están referidos a la marea astronómica más baja (*lowest astronomical tide*, LAT), que se define como el nivel de marea más bajo que se puede predecir que ocurrirá en condiciones meteorológicas promedio y en cualquier combinación de condiciones astronómicas. Este es un valor teórico que se calcula matemáticamente mediante un análisis armónico que incluye los niveles de mareas de los últimos 18 años y medio (los dos períodos de oscilación sustanciales para la fluctuación de las mareas).

A pesar de que su uso es común a muchos países, esta no es la única referencia de marea válida (**Figura 3**) ni la única utilizada en Argentina. El SHN para sus tablas de marea utiliza el nivel medio de marea baja (*mean lower low water*, MLLW) en cada uno de los puertos de referencia que luego refiere a planos de reducción que varían de una carta a otra, y que aproximan el LAT.

USA Tidal Levels

Showing Boundaries of Private Ownership by State

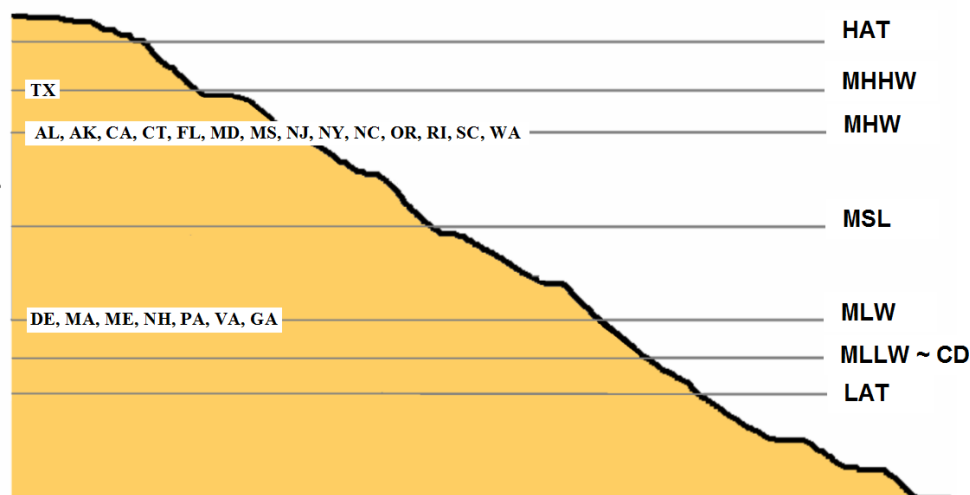


Figura 3. Esquema de referencias de marea. Fuente: www.geomatix.net

En este proyecto las diferencias entre LAT y MLLW, que son del orden de las decenas de centímetros, han sido consideradas despreciables, teniendo en cuenta el procesamiento posterior al que se realizará a los datos (unión de información de diferentes fuentes, interpolación, etc.). Por esta razón se han considerado ambas referencias comparables.

2.2 Datos acústicos: campañas oceanográficas y pesqueras

En Argentina existen diferentes instituciones que han contado tradicionalmente con embarcaciones que les permitían realizar campañas de toma de datos en el mar.

Denominadas oceanográficas o pesqueras, en función de sus objetivos prioritarios, en todas estas campañas se adquieren datos de diferente naturaleza: oceanográficos, biológicos, etc.

Aunque es indispensable para las embarcaciones de estas instituciones contar con equipos acústicos de navegación (por razones de seguridad), además todas ellas incluyen entre sus objetivos de trabajo algunos que pueden ser cubiertos a través del análisis de información acústica: evaluación de *stock* pesquero, estudio topográfico, caracterización de fondos, etc. Por esta razón en cada una de estas campañas se adquieren datos acústicos que pueden ser analizados, haya sido este su objetivo original o no, para la caracterización de la batimetría del área.

Estas instituciones son tres:

- Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)
- Servicio de Hidrografía Naval (SHN)
- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET), representado para estas zonas de estudio por el Centro Para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR) y el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO).

En este trabajo se ha solicitado a cada una de las entidades anteriores los datos acústicos de todas aquellas campañas que se hayan realizado con equipamiento que permita su adquisición.

El Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) realiza regularmente campañas de investigación dirigidas al estudio y evaluación de organismos marinos pelágicos y bentónicos. Por esta razón todos sus buques cuentan con ecosondas científicas o pesqueras cuyos datos son adquiridos en cada campaña. Aunque el objetivo de estas datas no es la caracterización topográfica del fondo y, por lo tanto, estos datos no se procesaban con esta finalidad, a raíz de la puesta en marcha de este proyecto y de la solicitud de los datos, el Gabinete de Hidroacústica del INIDEP generó un repositorio batimétrico. Este repositorio lo compone la información de localización y profundidad (XYZ) obtenida tras el procesamiento de la información acústica de una serie de campañas realizadas. Las campañas incluidas fueron escogidas para maximizar el área caracterizada evitando la repetición de información en derrotas cercanas. El repositorio disponible para su uso contiene archivos de datos batimétricos con una resolución horizontal degradada (en promedio, un dato cada 5m) y homogenizada a lo largo del derrotero de cada campaña, así como un control de calidad (ver detalles en Sonvico *et al.*, 2021).

La información adquirida en campañas oceanográficas por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) es procesada y depurada por el servicio para la elaboración de las cartas náuticas que el mismo pone a disposición del público general. Si bien en el marco de este trabajo se solicitaron los archivos acústicos originales para poder contar con mayor cantidad de datos y resolución espacial (en especial en las áreas donde fueron utilizadas sondas acústicas multibeam), la naturaleza militar de la institución dota a esta información de un carácter sensible que no permitió su cesión para este trabajo. Debe tenerse en cuenta por lo tanto que es posible que, para alguna de las zonas dentro de las áreas de estudio, el SHN cuente con batimetría de resoluciones mayores allá donde fue realizado un levantamiento topográfico con sondas acústicas multibeam.

El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) consta de 16 Centros Científico Tecnológicos (CCT) dentro de los cuales se integran unas 300 Unidades Ejecutoras. Varias de estas Unidades Ejecutoras tienen líneas de investigación marinas y cuentan con equipamiento acústico propio o participan de campañas sobre buques oceanográficos del CONICET. Para las áreas de estudio que se

presentan en este informe los dos Institutos con información disponible fueron el Centro Para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR) y el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO).

Personas integrantes del primero de ellos cuentan con información adquirida en una campaña costera en el año 2014 y otra en el año 2017, así como en campañas oceanográficas realizadas en el año 2014 en el buque Canadiense Coriolis II y en los años 2016 y 2017 en el buque oceanográfico ARA Puerto Deseado. Además, se contó también con datos acústicos procedentes de campañas costeras adquiridos con equipos acústicos no científicos pero que permitían el registro de información, por lo que pudieron ser procesados y utilizados. Las campañas costeras se concentraron en áreas cercanas a la costa y muy someras y su información se concentró en áreas pequeñas.

Los datos solicitados a todas estas instituciones para las dos áreas de estudio han sido recibidos con diferentes niveles de procesamiento. Todos ellos han sido sometidos procesados y corregidos para su uso siguiendo la metodología mostrada en la sección 3 de este informe, para su introducción en la base de datos final de cada área de estudio.

2.3 Datos procedentes de otras fuentes

General Bathymetric Chart of the Oceans

La General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO), es una base de datos batimétricos global desarrollada por un grupo internacional de expertos en cartografía de fondo que trabajan bajo el auspicio de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO. La plataforma GEBCO pone a disposición una serie de productos batimétricos entre los que se incluyen grillas batimétricas regionales y globales. La resolución espacial de esta información es de 15" x 15" (lo que corresponde a aproximadamente 450 m en las latitudes de las dos áreas de trabajo de este informe).

No se utilizaron otras bases de datos globales como la ETOPO1 (Amante y Eakins, 2009) por tener una resolución espacial muy baja (mayor a 1km de tamaño de píxel).

Programa de "Observadores a bordo" de la Secretaría de Chubut

En el año 2001 desde la Secretaría de Pesca de la Provincia de Chubut les impulsó la puesta en marcha de un Programa de "Observadores a bordo" (POBCh) que permitiese el seguimiento de las pesquerías que se desarrollaban en sus aguas. Este programa funcionó hasta el año 2015 en colaboración con la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB) a través de un convenio en virtud del cual miembros de la UNPSJB realizaban un control de calidad a los datos tomados.

La información adquirida en este programa para cada lance de pesca incluye la fecha y hora, latitud, longitud y profundidad, así como datos de todas las especies capturadas. Esta base está disponible a través de su solicitud a la Secretaría de Pesca de Chubut.

3. Depuración y corrección de datos

3.1 Bases batimétricas: generación y homogenización

Cualquier base de datos batimétrica requiere de tareas de depuración y corrección que permitan compensar el efecto de la marea, eliminar el efecto del movimiento de la embarcación, identificar artefactos en la generación de datos o eliminar valores erróneos aislados. En este caso, al trabajar con diferentes bases de datos, algunos de los procesos previos deben ser realizados de forma independiente en cada base original, debido a sus particularidades, y otros pueden ser realizados una vez que se ha construido una única base de datos con la información de todas las fuentes.

Las correcciones de marea, movimientos de la embarcación e identificación de artefactos fueron realizadas en cada una de las bases de datos de forma independiente, atendiendo a las características de cada una de ellas. Una vez realizadas las correcciones de marea (Sección 3.2) y correcciones para eliminar el efecto del movimiento de la embarcación (Sección 3.3), todos los datos batimétricos procedentes de las distintas fuentes descritas previamente (Sección 2) fueron añadidos a una base de datos única para cada una de las áreas de interés. Cada una de estas bases de datos completas fueron sometidas a procesos de identificación y eliminación de datos erróneos. Del mismo modo fue evaluado su nivel de coincidencia.

Los datos procedentes de la base general GEBCO no fueron utilizados para conformar esta base, reservando su uso para la validación de la superficie batimétrica obtenida.

3.2 Corrección de marea

La profundidad de un punto determinado es un valor que varía a lo largo de las horas pasando de un máximo (en el momento de marea alta) a un mínimo (en el momento de marea baja), con diferencias entre ellos que varían entre los centímetros (en mares interiores como el Mar Mediterráneo) hasta la decena de metros en áreas donde la topografía y morfología de la costa acompaña en esta diferencia.

La costa argentina es un área con rangos mareales medios, que varían desde los 0,60 m en Puerto San Fernando hasta los 8,32 m en Puerto Río Gallegos. En nuestras áreas de interés el rango mareal toma valores alrededor de los 3,9 m en Golfo San Jorge y más de 5 m en Península Valdés. Esta diferencia, si bien comienza a perder importancia a medida que nos adentramos en áreas de mayor profundidad (por su aportación relativa), es muy relevante en la zona costera, por lo que una correcta corrección de marea se hace imprescindible.

Desafortunadamente, Argentina no cuenta con modelos de marea propios actualizados y detallados para la mayor parte de su costa, por lo que en este trabajo se evaluó el uso de dos sistemas de predicción de marea gratuitos de cobertura mundial: XTide y OTPS (*Oregon State University Tidal Prediction Software*).

El XTide es un software que calcula el nivel de marea basándose en los armónicos precalculados para una serie de estaciones de referencia (de las que se dispone de los constituyentes de la marea astronómica) y secundarias (de las que se dispone sólo de las amplitudes y desfases de alta y bajamar respecto a estaciones de referencia) (Flater, 2005).

El software OTPS se basa en datos obtenidos mediante inversión del modelo barotrópico de marea asimilando datos de altimetría radar de las misiones TOPEX/POSEIDON, TOPEX tándem, ERS, y de mareógrafos locales (Egbert *et al.* 2002). El software emplea mapas regionales precalculados con las amplitudes complejas de las distintas ondas de marea (constituyentes). En particular, para las áreas de interés se ha usado la solución regional para la plataforma continental patagónica (<http://people.oregonstate.edu/~erofeevs/PatS.html>), con una resolución espacial de 2' de arco (2 millas náuticas en dirección NS).

Ambos sistemas cuentan con ventajas e inconvenientes de cara a su uso: el principal inconveniente del software OTPS es su resolución espacial, que puede hacer la corrección menos precisa en las áreas más costeras donde, por otro lado, esta es más relevante. Además, este software usa como marea de referencia una marea media (MSL, mean sea level), por lo que es necesario posteriormente llevar las cotas corregidas a un estado de marea baja.

El software XTide, por su parte, requiere hallar el puerto (de referencia o secundario) más próximo al valor batimétrico que se quiere corregir. Además, por ser sus tablas referidas a puertos (esto es, a mareógrafos costeros), sus predicciones son peores conforme los puntos se hallan más alejados de la costa. Por último, los datos de tablas de marea de Xtide no se hallan actualizados: inicialmente se distribuyeron de forma colaborativa, tomándolos de fuentes oficiales o procedentes de cálculos de contribuyentes al software, pero desde 2012, debido a problemas legales de propiedad intelectual de los armónicos de marea planteados por la oficina hidrográfica del Reino Unido en 2001, sólo se mantienen las tablas correspondientes a Estados Unidos y no otras, como las de los puertos argentinos, por lo a día de hoy es difícil evaluar o asegurar su calidad.

En este caso se decidió utilizar el software OTPS por sus ventajas respecto a Xtide, a las que se suma la velocidad de cálculo que permite, y aprovechar las predicciones del software XTide y los cruces de transectos acústicos (localizaciones con dos adquisiciones de datos en momentos diferentes) para validar la corrección del primero. Los resultados mostraron un mejor desempeño de la corrección con el software OTPS que con el XTide.

Por último, para hacer la corrección desde los datos llevados al nivel medio (MSL, mean sea level) al nivel medio de marea baja (MLLW, *mean lower low water*), se ha modificado el software sumando a la altura de marea calculada respecto al MSL la suma de las amplitudes de los armónicos principales en un régimen semidiurno (M2, K1 y O1), de modo que el origen de mareas se desplace al punto de marea baja media.

Esta corrección de marea fue aplicada a todas las bases de datos a excepción de las cartas náuticas del SHN.

3.3 Corrección del efecto de movimiento de la embarcación

Los datos acústicos de dos de las campañas costeras realizadas por personal del CESIMAR fueron adquiridos con sondas multihaz o sonar de barrido lateral interferométrico. Ambos equipamientos permiten una resolución vertical máxima del orden de las decenas de centímetros por lo que el error debido al movimiento de la embarcación, así como el efecto de la temperatura en la columna de agua en el avance de la onda acústica es relevante.

Por esta razón los datos obtenidos con estos equipos fueron sometidos a una serie de correcciones (**Figura 4**):

- Corrección de los movimientos de la embarcación durante la adquisición de datos. Para realizarla se utilizaron los datos adquiridos por la unidad de medida inercial (*Inertial Measurement Unit*, IMU) de cada una de las embarcaciones.
- Corrección del perfil de velocidad del sonido. Se utilizaron los perfiles adquiridos con el perfilador de sonido o con las sondas de conductividad, temperatura y profundidad (CTD) durante las campañas.
- Corrección de marea. Siguiendo la metodología explicada en la sección 3.2.

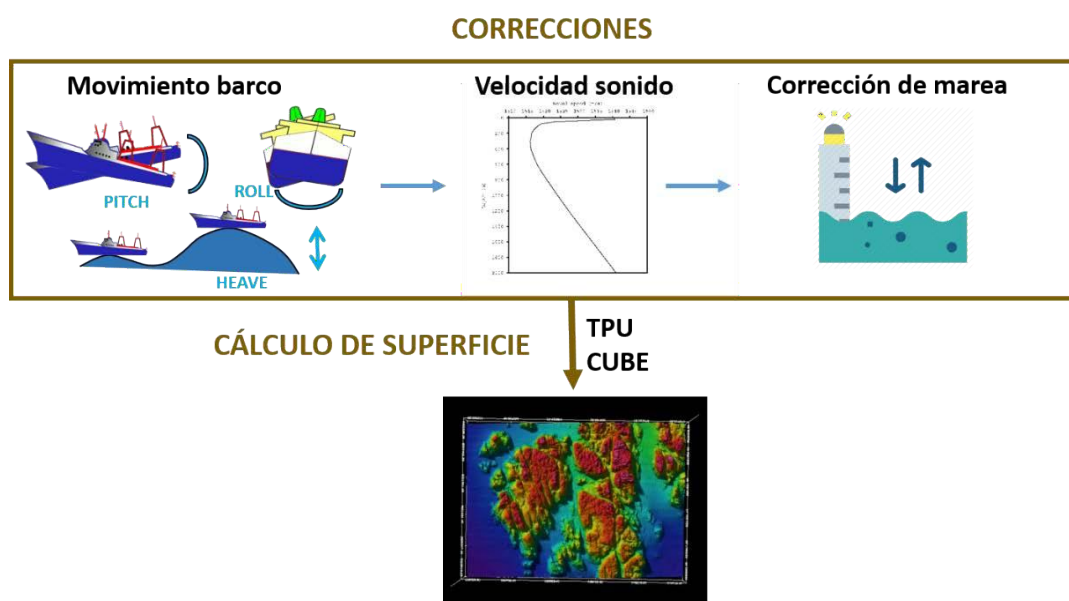


Figura 4. Esquema de tratamiento de datos acústicos multibeam para la generación de superficies batimétricas. Fuente: Elaboración propia

Una vez corregidos los datos batimétricos siguiendo los pasos anteriores pueden generarse superficies batimétricas de alta resolución empleando diversos algoritmos. Uno de los más aceptados por la eficiencia en la eliminación de datos atípicos o erróneos es el método CUBE. Este método requiere del cálculo de una medida de incertidumbre asociada a cada valor batimétrico (*Total Propagated Uncertainty*, TPU), lo que permite el uso de pesos y de filtros en el cálculo de la superficie batimétrica final (Lawes, 2013).

Con estas dos bases de datos se generaron superficies batimétricas de 5m de tamaño de píxel que posteriormente fueron filtradas para su suavizado. Se generalizaron estas superficies a un ráster de 50 m de tamaño de píxel, calculando la profundidad como la media de los valores de los píxeles de 5 m contenidos en cada uno de los nuevos. Finalmente se extrajo un valor de profundidad para el centro de cada píxel (50 m).

3.4 Armonización de referencias batimétricas y eliminación de fuentes con fuertes desviaciones

A pesar de las correcciones de marea y movimiento de la embarcación, las diferentes fuentes de datos pueden contar con sesgos debido a las características de los equipos o su montaje, a errores en el funcionamiento de los mismos, o al procesamiento realizado con ellos. Además, cuando la adquisición de los datos es manual (como el POBCh) pueden encontrarse errores sistemáticos.

Antes de unir los datos de las diferentes fuentes en una única base, la información de cada fuente de datos fue revisada en busca de errores sistemáticos o puntuales. Para ello se compararon las profundidades de los datos batimétricos en cada una de las fuentes atendiendo a la fiabilidad de éstas, comenzando por las cartas náuticas, los transectos y campañas acústicas propios (con procesamiento trazable), los transectos de campañas del INIDEP y, por último, los datos de observadores. Se proyectaron en ese orden sobre la malla de interpolación y se ajustó la profundidad media en los puntos de cruce de cada fuente para que coincidiese con la de las fuentes mayor fiabilidad anteriores. Aquellos puntos o fuentes de datos que presentaron errores mayores fueron revisados, corregidos si era posible o eliminados. En nuestro caso, esto sucedió con algunas campañas costeras, transectos de INIDEP y datos de observadores.

El proceso anterior, sin embargo, no elimina los posibles sesgos que, si de por sí representan una fuente de error o imprecisión, son mucho más evidentes cuando se trabaja con fuentes de datos diferentes, ya que pueden provocar incoherencias entre ellas. Para identificar y corregir estos sesgos se realizaron interpolaciones eliminando, en cada una de ellas, los datos procedentes de una fuente determinada y calculando posteriormente el error de los mismos. En el caso de que alguna de las fuentes de datos mostrase un sesgo demasiado elevado para ser absorbido por el proceso de interpolación, esta fuente de datos fue descartada.

4. Generación de superficies batimétricas

A partir de las bases de datos construidas con la información de las diferentes fuentes de datos se obtuvieron las bases batimétricas para cada una de las áreas de estudio. Para evitar artefactos en las áreas límite, en la zona costera se incluyeron puntos a lo largo de la línea de costa, separados unos 20-30 m entre ellos (un segundo de arco, correspondiente a la resolución del modelo SRTM) y con valor de profundidad 0, en la zona marina se utilizaron datos fuera del área de trabajo y se extendió la interpolación varios píxeles por fuera de la misma. Las sondas incluidas en estas áreas junto con los puntos situados sobre la línea de costa constituyeron las bases batimétricas de cada área de estudio.

4.1 Algoritmo de interpolación

Existen múltiples métodos de interpolación de datos geográficos que ya están implementados en diversos programas de uso general. Cada uno de estos métodos cuenta con características propias que los hacen más o menos rígidos (permitiendo o no desviarse de los valores dados para un punto, interpoladores exactos o interpoladores aproximados) y más o menos sensibles a la distribución espacial de los datos (mostrando mejor respuesta frente a datos de distribución espacial muy heterogénea como son los batimétricos).

Trabajos previos han estudiado precisamente el desempeño de los métodos de interpolación más comunes ante la particularidad de datos distribuidos en transectas, mostrando el Universal Kriging (UK) y el Radial Basis Functions (RBF) los mejores resultados (Sánchez-Carnero *et al.*, 2012). Sin embargo, incluso con estos algoritmos, el efecto de las transectas es muy relevante y da lugar a artefactos que requieren de un proceso de corrección manual para su eliminación o bien del submuestreo de los datos dentro de las transectas.

Estos métodos, también sufren de efectos de sobre-suavizado al hacer una estimación global de la función de correlación de la superficie (equivalentemente, del semivariograma), cuya estructura puede variar sobre áreas geográficas muy grandes y en las que las densidades de puntos, alta cerca de la costa y más dispersa lejos de ésta, impone un grado de generalización uniforme que hace sacrificar el detalle de unas zonas por la generalización de las otras.

Para evitar esto, en este trabajo se utilizó un algoritmo de interpolación basado en un proceso iterativo multirresolución, que permitiera aprovechar toda la información contenida dentro de las transectas acústicas sin generar artefactos en la superficie obtenida (Rodríguez-Pérez, artículo en preparación).

El algoritmo desarrollado busca generar una superficie batimétrica tal que, independientemente de la resolución de ésta (del tamaño de píxel) el valor de la profundidad interpolada en aquellos lugares donde existan datos de profundidad sea el valor medio de dicha profundidad. En el resto de los píxeles, sin datos, la superficie batimétrica se estimará como una media de la profundidad en los píxeles vecinos. La naturaleza multiresolución del algoritmo permite emplear en las resoluciones más finas los valores previamente estimados en las resoluciones más groseras, facilitando así la generalización de la superficie interpolada y acelerando el algoritmo.

El algoritmo procede iterativamente repitiendo el proceso siguiente sobre mallas de resolución cada vez más fina, reduciendo el tamaño del lado del píxel a la mitad cada vez:

En cada píxel de la malla se hace una estimación de la profundidad media en él a partir de los valores batimétricos que contiene. Si se trata de la menor resolución de trabajo (mayor tamaño de píxel) el cálculo es directo con los valores presentes en el píxel. Si estamos trabajando con alguna de las resoluciones mayores (menor tamaño de píxel), el valor de la profundidad media en él se estima como el promedio de las profundidades estimadas en los 8 píxeles vecinos; en caso de que alguno de esos vecinos no tenga datos con los que calcular su profundidad (en esta resolución), entonces se emplean los valores de profundidad estimada en ellos en la resolución inmediata superior (con píxeles de tamaño doble).

El algoritmo es interpolador exacto en aquellos píxeles en los que hay datos (estima la batimetría como el valor medio de los datos batimétricos en él) y generalizador en aquellos píxeles sin datos batimétricos. El esquema multiresolución de subdivisiones recursivas hace también que sea óptimo en cuanto a la velocidad del cálculo (se itera sobre una malla de tamaño L sólo del orden de $\log_2 L$ veces, y cada vez sólo con el nivel de detalle requerido).

El método permite asignar un peso a los valores batimétricos de partida, basado en su fiabilidad, en su coincidencia con otros valores batimétricos cercanos, etc. En ese caso, en lugar de calcular la profundidad como una media simple en cada píxel, se calcula como una media ponderada con dichos pesos. En nuestro caso, los pesos los asignamos mediante un algoritmo de validación cruzada. Se extrae un 10% de los puntos batimétricos, uniformemente distribuido en el área de interpolación, y se calcula una interpolación con pesos unidad; esto se repite 10 veces extrayendo subconjuntos disjuntos entre ellos. Con las 10 batimetrías parciales calculadas, se asigna a cada punto batimétrico una varianza de interpolación V_n (correspondiente a la varianza de la batimetría calculada en el correspondiente píxel) y de ella se obtiene el correspondiente peso de Fisher W_n como $1/(1+V_n/V)$ donde V es la media de las varianzas de interpolación en todos los puntos.

La aplicación de estos pesos permite, entre otras cosas, suavizar el efecto de los datos distribuidos en transectas, así como evitar la influencia excesiva de zonas con mucha densidad de puntos sobre otras cercanas de baja densidad.

El algoritmo cuenta también con dos limitaciones importantes. La primera es que es interpolador exacto, lo que implica que no es robusto ante la presencia de valores extremos: en el píxel que los contenga, se notará su efecto y, posiblemente, en los píxeles vecinos sin datos batimétricos hacia los que se generalice el valor de profundidad. La segunda es debida al modo en que se realiza la partición multirresolución: el resultado de la generalización será sensible a la posición particular de los límites entre celdas en cada nivel de resolución, al heredarse para una resolución más fina los valores de batimetría estimados a partir de las celdas vecinas en el nivel superior. Este efecto es más dramático cuanto más alejado está un píxel de las zonas con valores batimétricos reales y puede dar lugar, entre otras cosas, a escalones (aunque se atenúan en los pasos de generalización, que actúan de suavizado) y a extrapolaciones irreales (como valores altos de profundidad en zonas alejadas de los puntos de medida simplemente porque en ellas se generalizó una profundidad promedio de toda el área de estudio en las primeras iteraciones a resoluciones groseras).

4.2 Depuración de errores sistemáticos y eliminación de datos erróneos

El proceso de interpolación anterior se realiza en el área de estudio 10 veces. Para ello la base de datos batimétricos (sin incluir la línea de costa) es dividida aleatoriamente en 10 subgrupos de datos y cada interpolación se realiza excluyendo uno de estos (incluyendo siempre los puntos de la línea de costa).

Para cada punto en uno de los 10 subconjuntos, se calcula el error de interpolación respecto a la interpolación que lo excluyó (la diferencia entre su profundidad y la profundidad interpolada, considerando el signo). Para determinar si un punto batimétrico se conserva o se depura de la base de datos se sigue el criterio de las “barreras” de Tukey (Tukey, 1977): se determina el intervalo intercuartílico de la distribución de errores de interpolación y se excluyen como extremadamente desviados aquellos puntos cuyos errores se hallen más de 3 veces el rango intercuartílico por debajo del cuartil inferior (respectivamente, por encima del cuartil superior).

Una vez excluidos estos datos con desviaciones extremas (*far out*, en terminología de Tukey), se vuelven a generar las 10 interpolaciones anteriores empleando la restante base de datos batimétricos con la misma división en 10 grupos de datos (e incluyendo, como antes, la totalidad de la línea de costa).

4.3 Relajación de la superficie interpolada

Cada superficie batimétrica interpolada presenta todavía ligeros artefactos por inexactitudes en puntos batimétricos no detectadas en los procesos de depuración anteriores y que se destacarían al calcular las derivadas de la superficie (en las que se basan algunas variables batimétricas). Por ello, para suavizarlas, se aplica un procedimiento iterativo de relajación de los datos batimétricos a sus “posiciones correctas”.

El método iterativo de relajación realiza dos operaciones. Primero, estima la superficie batimétrica y la incertidumbre de ésta en cada píxel mediante el método de validación cruzada descrito más arriba. Posteriormente, en cada punto batimétrico, se realiza una corrección de la profundidad proporcional a la diferencia entre el dato de partida y la superficie interpolada media (resultado de promediar las 10 realizaciones, una de ellas sin el punto en cuestión) y también proporcional al complementario del peso de Fisher correspondiente. La iteración se repite 10 veces.

Este método logra suavizar la superficie, minimizando los gradientes entre píxeles contiguos (evaluados en todas direcciones) moviendo los puntos menos confiables, de acuerdo con la validación cruzada. Pero, al mismo tiempo, evita que este suavizado difumine en exceso las características de la superficie original, alejándola de su forma real, como sucedería con métodos de filtrado sobre el producto ráster. De este modo, el gradiente de un píxel solo será minimizado apreciablemente cuando esto no produzca una modificación excesiva del valor de profundidad de ese píxel respecto a la superficie de partida. Esto garantiza que el método iterativo se acerca cada vez más a la superficie suavizada óptima.

4.4 Validación de la superficie obtenida

La batimetría final se calcula como la media de las 10 batimetrías con los datos relajados. El error local en cada píxel de esa batimetría final se estima como la desviación típica de los correspondientes valores de la profundidad en esas batimetrías. Ese error local caracteriza, especialmente, aquellas regiones en las que la incertidumbre de la superficie batimétrica es mayor, debido a la incertidumbre atribuida a los puntos empleados en el cálculo. También informa sobre la reproducibilidad y robustez del resultado. Como se ha dicho, el error estimado arriba caracteriza la incertidumbre debida a la distribución de datos que influye sobre la reproducibilidad y robustez del resultado. Es, por tanto, un error asociado a la precisión del método (cuál es la dispersión de la estimación), pero no informa sobre la exactitud de la superficie batimétrica (cómo de cerca se halla la interpolación de los datos reales).

Para comparar estadísticamente la predicción de la superficie interpolada con los valores realmente medidos en los puntos batimétricos, se empleó el 10% de los puntos batimétricos excluidos de cada interpolación y se calcularon estadísticos a partir de las diferencias entre profundidades medidas y profundidades estimadas. Estos estadísticos fueron:

- La diferencia de profundidades media de los puntos de validación respecto a la superficie batimétrica interpolada (sesgo de la superficie interpolada) (Δz).
- El error cuadrático medio (RMSE) de los puntos de validación respecto a la superficie batimétrica interpolada (S).
- El coeficiente de correlación calculado entre los valores de profundidad de los puntos de validación y los correspondientes a los píxeles de la superficie batimétrica interpolada. Este coeficiente (elevado al cuadrado) nos indica qué fracción de la variación de profundidad en los puntos de validación es explicada por la superficie interpolada, y complementa la información del RMSE indicando cómo de importante es dicho error respecto de las variaciones globales de la batimetría (C) (Ranganathan *et al.*, 2021).
- El índice de concordancia (index of agreement) entre la profundidad de los puntos de validación y la superficie interpolada, combina el significado de los dos anteriores: tiene en cuenta que los valores de profundidad en los puntos batimétricos y en la batimetría interpolada pueden estar correlacionados sin ser coincidentes (D) (Ranganathan *et al.*, 2021).

4.5 Interpolación fractal de la superficie

La superficie interpolada anteriormente posee buenas propiedades en las diferentes escalas en que se dispone de datos. Sin embargo, esas propiedades no se distribuyen por igual en las diferentes escalas, siendo la superficie más irregular allí donde sigue los datos que indican las irregularidades del fondo marino, y más suave allí donde el algoritmo generaliza a partir de ellos. El algoritmo interpola la batimetría, pero no la textura del terreno.

Para lograr esto último se ha propuesto una variación en el algoritmo multirresolución, basada en las características fractales del fondo marino (Blondel, 2018) que sugieren describirlo localmente como un fractal autosimilar caracterizado por un exponente de Hurst tal que a una escala de tamaño L dado, la rugosidad es proporcional a L^H . De este modo, el algoritmo multirresolución descrito más arriba puede añadir en las zonas sin datos batimétricos una irregularidad aleatoria (de media cero), entre la observada a escalas más groseras (dada por la varianza de las profundidades respecto a la media) y la que se espera en la escala del píxel de la batimetría final (estimada a partir de los datos

batimétricos disponibles). Por construcción la profundidad media en una escala más grosera seguirá siendo la correspondiente al valor medio de los datos batimétricos contenidos en ella.

La textura interpolada de este modo permite estudiar estadísticamente la geomorfología aplicando los métodos de caracterización local (basados en derivadas o filtros de vecindario) descritos en el apartado siguiente.

4.6 Cálculo de variables topográficas derivadas de la batimetría

A partir de la superficie batimétrica es posible calcular otras superficies derivadas de la misma que nos informan acerca de características topográficas del fondo marino. Las más habituales y de cálculo más directo son la pendiente del fondo y la orientación de esta pendiente. Pero existen muchas otras, habituales en trabajos de caracterización topográfica como son la rugosidad, la curvatura, el índice hipsométrico, etc. (Lecours *et al.*, 2016). Estas variables son a menudo utilizadas junto con la batimetría para realizar estudios de caracterización de fondos marinos (Ierodiaconou *et al.*, 2011; Micallef *et al.*, 2012, Sánchez-Carnero *et al.*, 2020), incluso en el contexto de la evaluación de la delimitación de áreas marinas protegidas (Sánchez-Carnero *et al.*, 2016).

En este trabajo se calcularon la pendiente, las orientaciones este y oeste (coseno y seno del ángulo de orientación), la curvatura media, el índice de posición bentónica (BPI; Walbridge *et al.*, 2018) y el índice hipsométrico (HI; Jiskoot *et al.*, 2009).

5. Presentación de resultados para las áreas de estudio

5.1 Área de interés Frente Valdés

5.1.1 Base de datos batimétrica

Las bases de datos obtenidas para el área del Frente Valdés (FV), una vez realizados los procesos de depuración descritos en los apartados 3.4 y 4.2 de este informe, resultaron tal y como se describe:

1) Cartas náuticas del Servicio de Hidrografía Naval.

Las cartas náuticas obtenidas para el área de estudio, junto con aquellas de áreas aledañas que contaban con sondas en el interior de la misma, sumaron un total de 1732 sondas, con profundidades entre los 0.3 y 113m de profundidad, distribuyéndose por casi la totalidad del área de estudio (**Figura 5**).

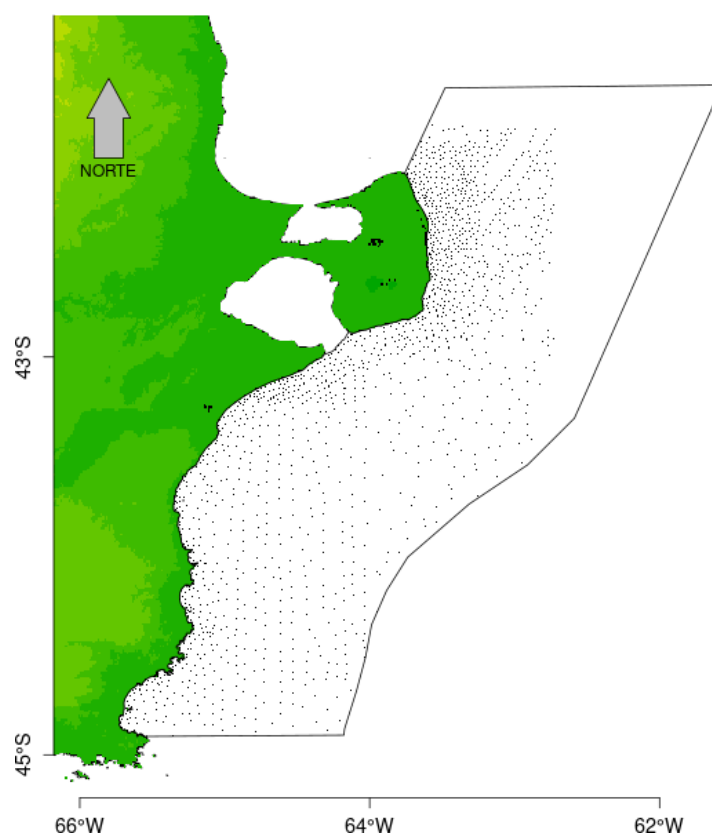


Figura 5. Sondas procedentes de cartas náuticas del SHN para el área del Frente Valdés

2) Información batimétrica generada a partir de los transectos de las campañas realizadas por el INIDEP

La información procesada y compartida por el INIDEP a partir de sus campañas oceanográficas contribuyeron en 109148 datos dentro del área de estudio, con valores de profundidad entre 7.7 y 92.4m. Estos datos se distribuyen en transectas en dirección mayoritariamente E-W a lo largo de toda el área de estudio (**Figura 6**).

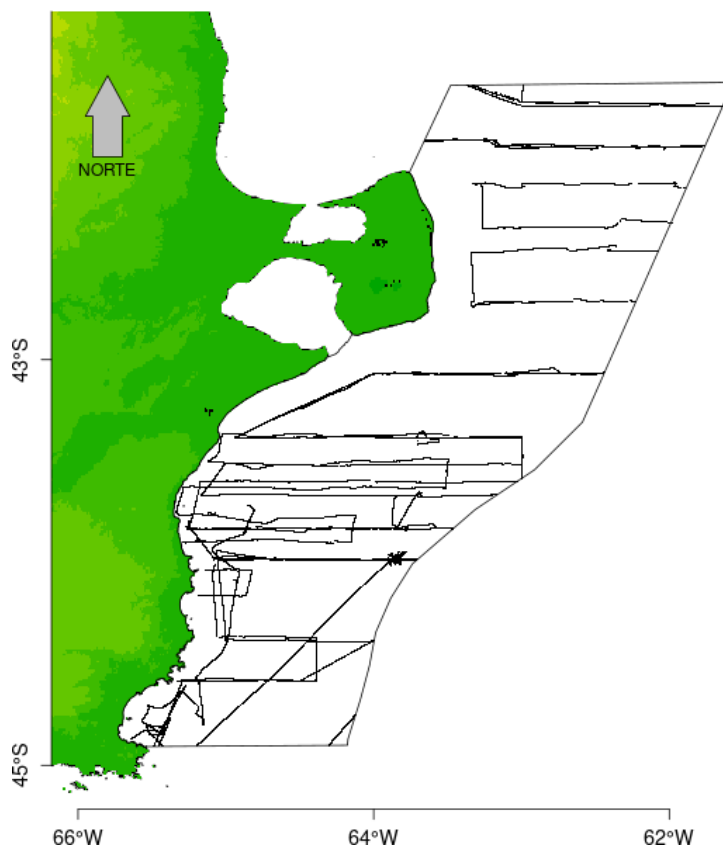


Figura 6. Sondas procedentes de campañas oceanográficas del INIDEP para el área del Frente Valdés

3) Información batimétrica obtenida durante campañas realizadas por el INIDEP para evaluación de stocks

Completando la base de datos anterior, se obtuvieron sondas adquiridas durante campañas de evaluación de stocks realizadas por el INIDEP en el área de estudio que no necesariamente estaban incluidas en la base de datos de líneas batimétricas distribuida por el instituto. De esta información se obtuvieron 56427 sondas con valores de profundidad entre 4.5 y 145.1m, distribuidos por toda el área de estudio (**Figura 7**).

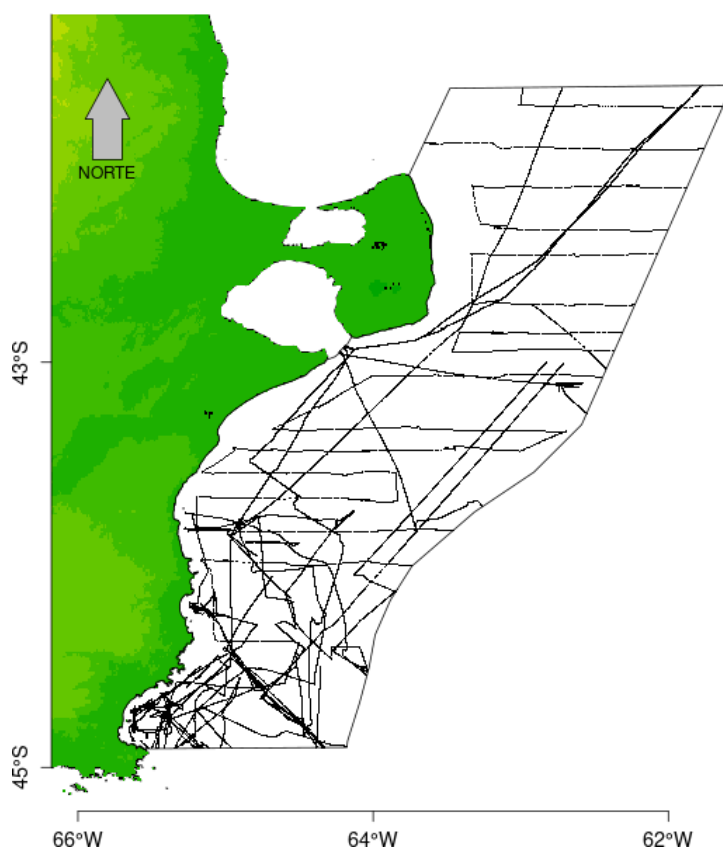


Figura 7. Sondas procedentes de campañas pesqueras del INIDEP para el área del Frente Valdés

4) Puntos localizados a lo largo de la línea de costa

Para el área de estudio se incluyeron 31649 puntos a lo largo de la línea de costa, desde Punta Norte al norte, hasta el sur de Cabo dos Bahías al sur (exceptuando el interior de los golfos Nuevo y San José), todos con valor de profundidad igual a 0 y separación entre ellos de entre 20 y 30m.

5) Información batimétrica asociada a los lances de pesca de la flota de Chubut, cedido por el programa de “Observadores a bordo” (POBCh) de la Secretaría de Pesca de la Provincia de Chubut.

Se utilizó la base de datos de lances desde 2001 a 2017. Todos los lances (puntos) fueron sometidos a una corrección de marea y depuración de errores. La base depurada contó con 8772 lances dentro del área de interés, con valores de profundidad de entre 0.23 y 95.3m, distribuidos principalmente en el área sur de la zona de estudio (**Figura 8**).

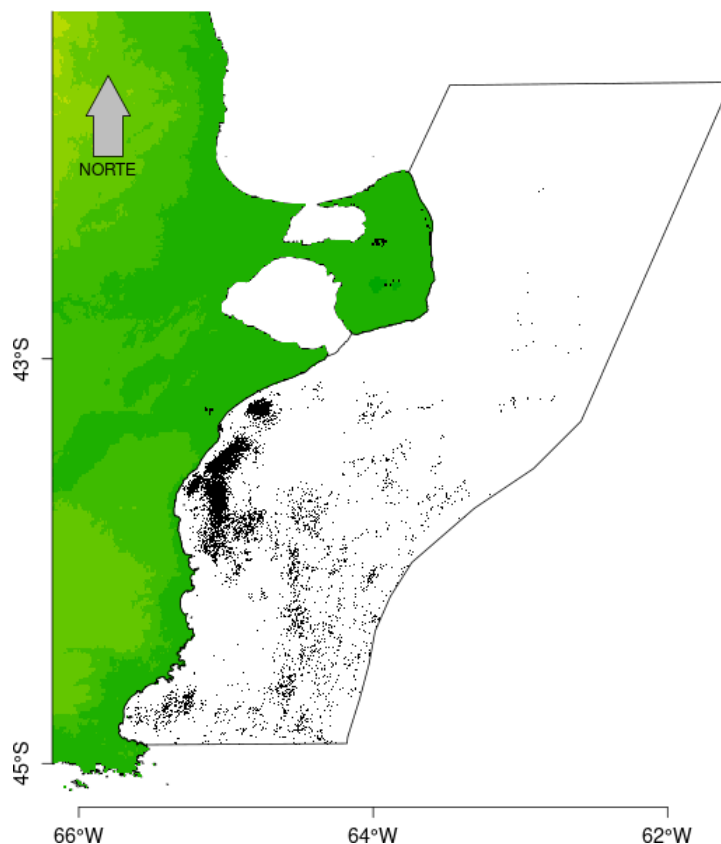


Figura 8. Puntos batimétricos procedentes del Programa de Observadores a bordo de la Provincia de Chubut (POBCh) para el área del Frente Valdés

Además de las 5 bases de datos anteriores, de carácter más general en cuanto a la distribución de sus datos, en esta área se contó con dos fuentes de datos de detalle, de alta resolución, pero baja cobertura espacial.

6) Información multibeam adquirida por la sonda Simrad EM2040 a bordo del ARA Austral del Servicio de Hidrografía Naval e Información multibeam adquirida por la sonda Simrad ME70 a bordo del buque Victor Angelescu del INIDEP

Los datos cedidos por el Servicio de Hidrografía Naval se correspondieron con las transectas de viaje desde aproximadamente los 46° 36' S al puerto de Puerto Madryn (incluyendo las maniobras de entrada y salida del puerto), cubriendo un total aproximado de 600 km.

Además, durante la campaña VA-15/18 – Caracterización biológica y ambiental del área “Frente Valdés” realizada por el Buque Victor Angelescu en el marco del proyecto “Fortalecimiento de la Gestión y Protección de la Biodiversidad Costero Marina en Áreas Ecológicas clave y la Aplicación del Enfoque Ecosistémico de la Pesca (EEP)” se realizaron

18 transectas, desde la costa hasta, aproximadamente, la isobata de los 80 m de profundidad. Tras un proceso inicial de depuración se procesaron 12 de las transectas obteniendo la información batimétrica de las mismas.

El procesamiento de la información obtenida en las dos campañas anteriores, una vez remuestreada a 50m de distancia dió lugar a 150001 sondas batimétricas, con profundidades entre 27.3 y 139.7m (**Figura 9**).

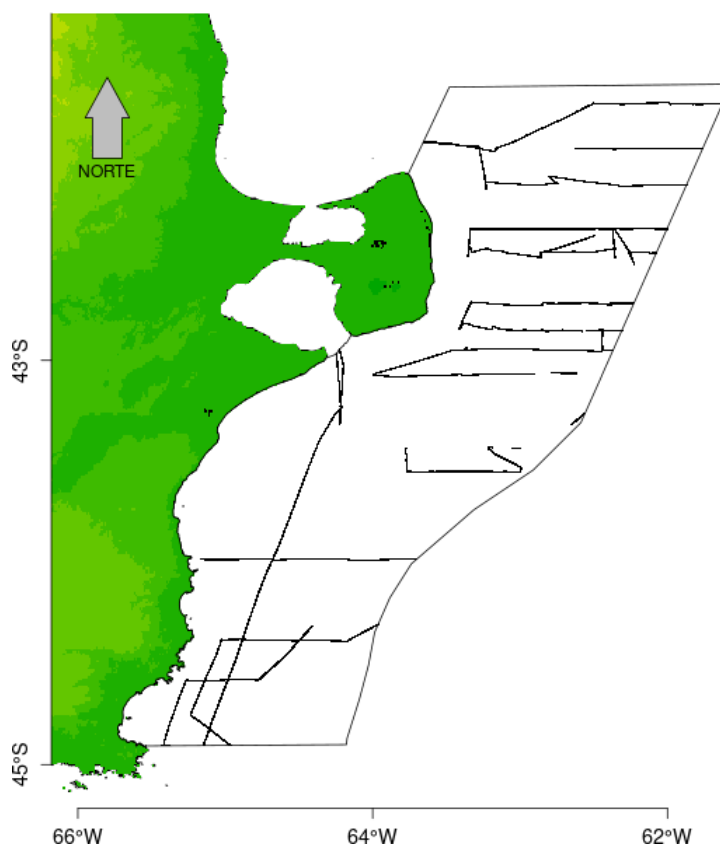


Figura 9. Sondas procedentes de los datos adquiridos con sondas multihaz para el area del Frente Valdés

La base de datos batimétricos generada para el área de trabajo del FV con la información procedente de las fuentes anteriores, contó en total con 326080 sondas batimétricas, concentrándose la mayor parte de ellas entre los 55 y 70m de profundidad (Figura 10). Algunas de estas sondas pueden corresponder a datos muy cercanos, como es el caso de los datos adquiridos por el INIDEP y recibidos a través de diferentes medios, pues esta institución realiza campañas siguiendo derrotas muy similares. La presencia de esta información “semiduplicada” no debe representar un problema para el algoritmo utilizado, pero es necesario tenerlo en cuenta a la hora de interpretar y utilizar la base de datos con futuras aplicaciones.

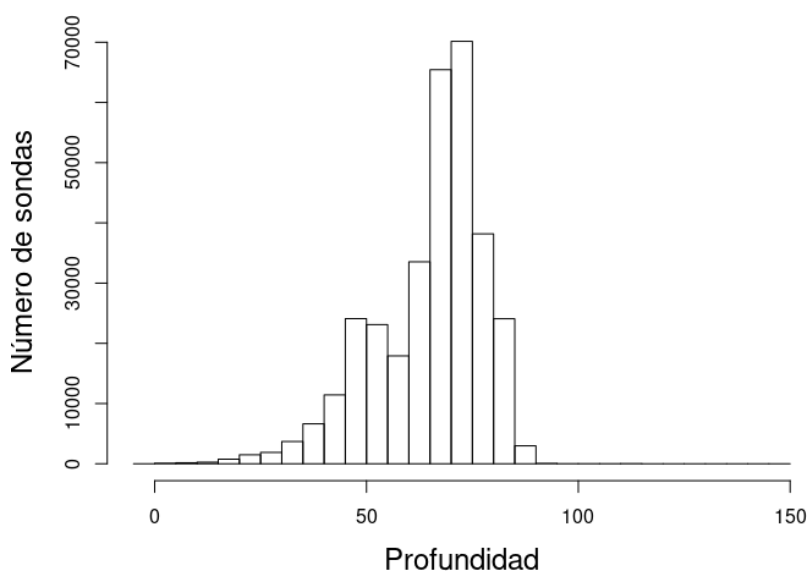


Figura 10. Histograma de frecuencia de la profundidad de las sondas de la base generada para el área del Frente Valdés

5.1.2 Superficie batimétrica

Mediante el proceso de interpolación descrito en la sección 4 se obtuvo una superficie batimétrica para el área de FV, con un tamaño de píxel de 100m y un rango de profundidades de entre -1.5 y 102.9m (siendo los valores negativos, topográficamente positivos, correspondientes a áreas del intermareal) (**Figura 11**).

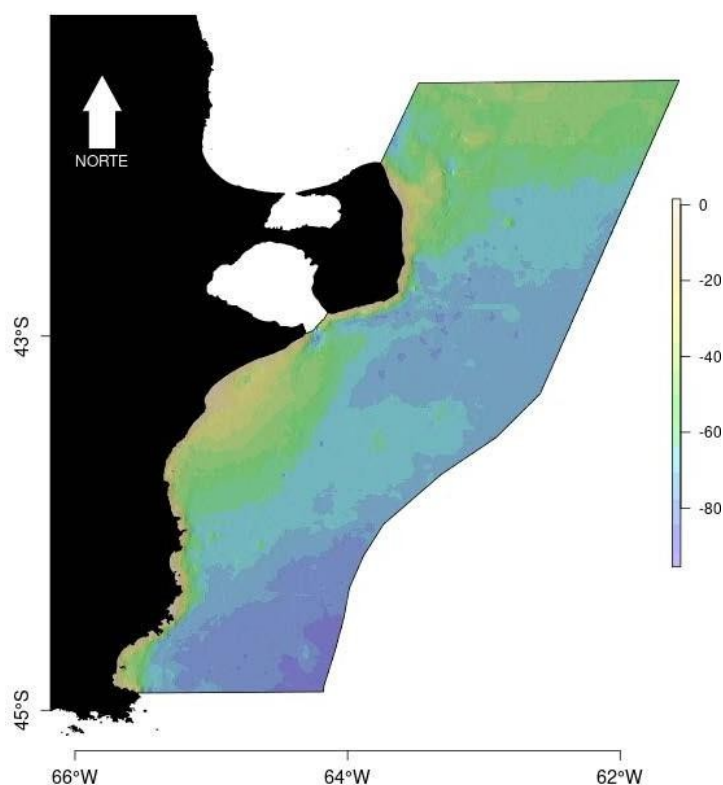


Figura 11. Superficie batimétrica generada para el área del Frente Valdés

En lo relativo a su fiabilidad, la superficie obtenida muestra una diferencia de profundidades media (Δz) de aproximadamente 0m, lo que quiere decir que no hay ningún desplazamiento sistemático de los puntos respecto de la superficie batimétrica. Por otro lado, el error cuadrático medio (RMSE) de la superficie evaluado por validación cruzada fue de 2.20000 (± 0.0035 , IQR) m.

El coeficiente de correlación obtenido entre los puntos utilizados para la el cálculo de la batimetría y la superficie obtenida fue de 0.9939 (± 0.0002 , IQR). Por último, el índice de concordancia obtenido para esta superficie fue de 0.9939 (± 0.0002 , IQR). Ambos valores son esperablemente altos en una superficie ajustada a los datos de origen. Una desviación en estos estadísticos mostraría un sesgo y un número elevado de valores extremos.

Es necesario tener en cuenta que, a pesar de los buenos valores de validación obtenidos, existen puntos con errores relativos altos correspondientes a elementos batimétricos que, por sus dimensiones, no pueden ser resueltos en batimetrías generales y suavizadas. Por último, es necesario recalcar, que esta batimetría ha sido generada con un algoritmo que tiene por objetivo reconstruir, de la forma más fiel posible, las características topográficas del fondo, no la estricta precisión de la batimetría. Por esta razón no debe ser utilizada como fuente de información para la navegación. En este sentido debe acudir siempre a la información facilitada por el SHN.

Es importante tener en cuenta también que la densidad de puntos originales dentro del área de estudio para poder realizar una valoración cualitativa de la fiabilidad de la superficie obtenida: allí donde no se cuente con muchos datos, la superficie puede haber sido muy simplificada en relación a la original. El mapa de densidad de datos (Figura 12), donde cada píxel es evaluado con los puntos situados en un radio de 10km, muestra una alta densidad de datos en las áreas costeras y el área frente al puerto de Rawson, así como las trayectorias de los transectos. Las áreas con menor densidad de puntos son aquellas más alejadas de la costa que no han sido barridas por transectos.

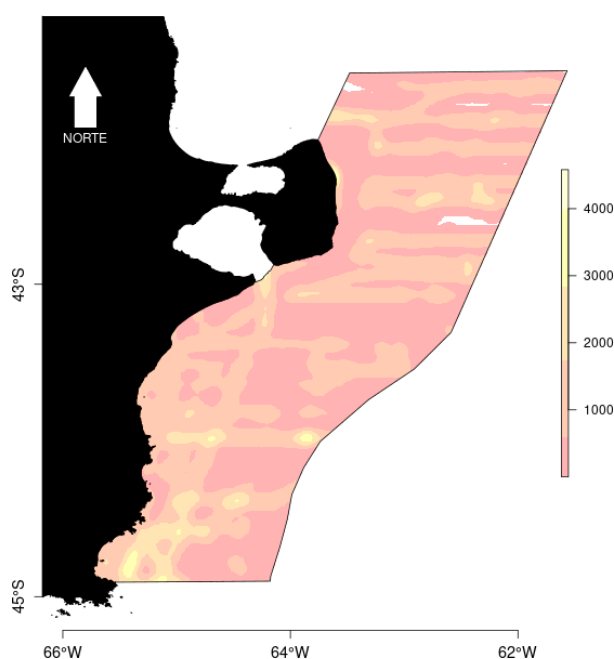


Figura 12. Mapa de densidad de puntos batimétricos utilizados para la generación de la superficie batimétrica en el área del Frente Valdés

5.1.3 Variables topográficas derivadas

En este trabajo se calcularon 6 variables topográficas derivadas de la batimetría: la pendiente, las orientaciones (este y oeste), la curvatura media, el índice de posición bentónica (BPI) y el índice hipsométrico (HI).

La pendiente, calculada como porcentaje (metros de ascenso por cada 100m recorridos), mostró valores de entre 0 y 5.28, con los valores más altos concentrados en la zona costera, especialmente el sur de Península Valdés y el área al sur de Rawson, hasta Cabo dos Bahías. Además, se observan estructuras de pendientes medias o altas en frente a Península Valdés (**Figura 13**).

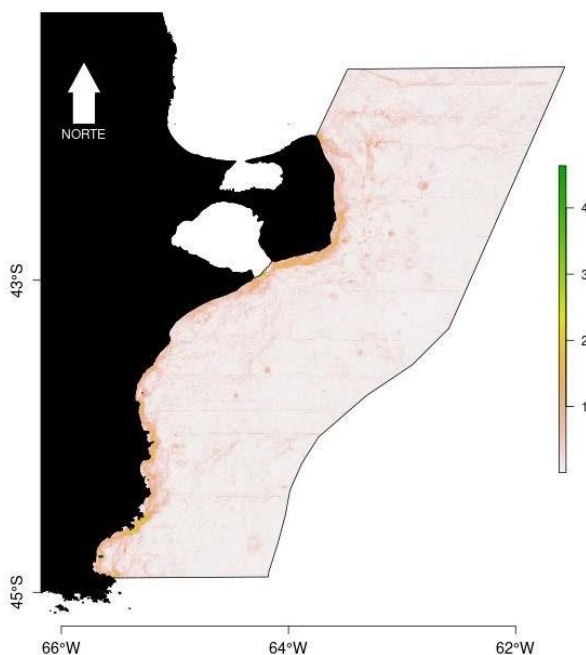


Figura 13. Pendientes obtenidas a partir de la batimetría del Frente Valdés (tamaño de píxel: 100m)

Las orientaciones fueron caracterizadas por su componente norte (coseno de la orientación de la pendiente) y su componente este (seno de la orientación de la pendiente). En el área de estudio se observaron pendientes con orientación predominantemente este (60.87% de píxeles con coseno de la orientación negativo). En cuanto a su componente norte-sur, están más presentes las áreas con componente sur (59.58% de píxeles con seno negativo), aunque, el área situada frente a Península Valdés, muestra un patrón de bandas alternadas con orientaciones norte y sur (**Figura 14**).

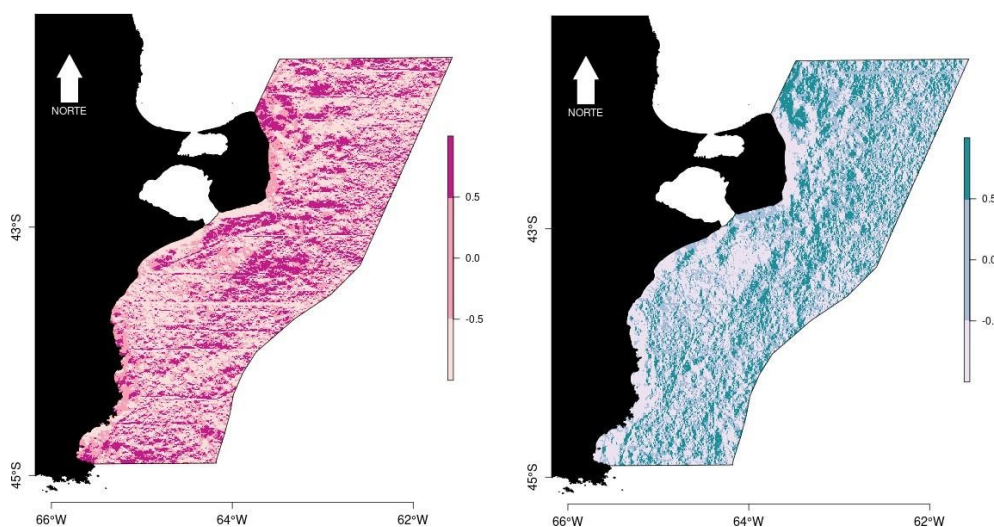


Figura 14. Componente norte (izquierda) y componente este (derecha) de la orientación de la pendiente en el área del Frente Valdés (tamaño de píxel: 100m)

La curvatura media es calculada como la suma de los coeficientes cuadráticos del ajuste local de la superficie a un paraboloide (en el sentido de los mínimos cuadrados), estimados a partir de las derivadas segundas en las direcciones este-oeste y norte-sur. En el área de estudio del FV la curvatura media toma valores entre -2.6 y 3.1, sin embargo, la mayor parte de los datos muestran curvaturas medias cercanas al cero (**Figura 19**). Los píxeles de mayor curvatura media (con signo positivo o negativo) se encuentran en las zonas de mayor pendiente, las áreas costeras del sur de la zona de estudio y del sur de la Península Valdés (**Figura 16**).

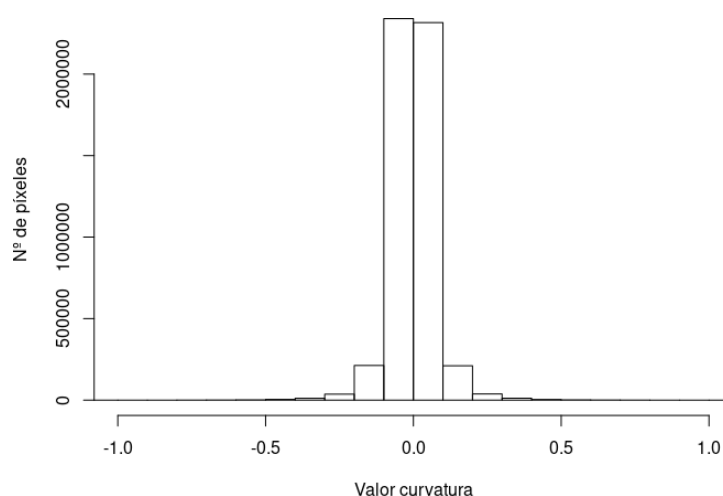


Figura 15. Histograma de frecuencia de los valores de curvatura media en el área del Frente Valdés. Se muestran únicamente los valores dentro del rango [-1,1] para mejorar la visualización

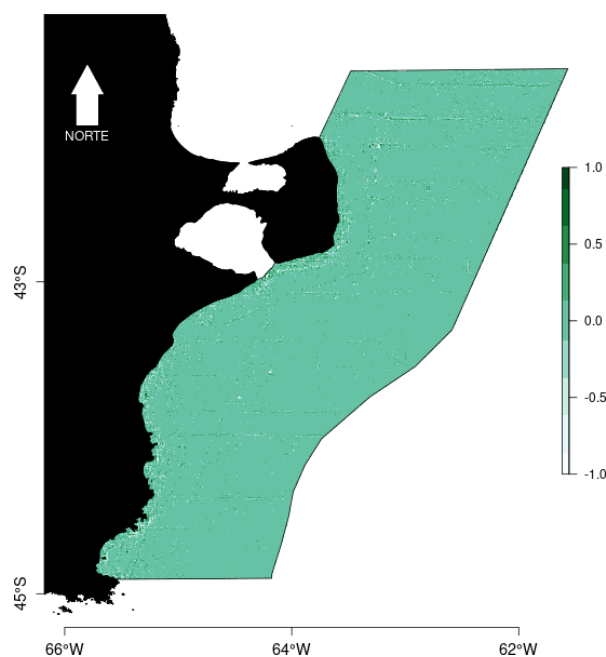


Figura 16. Curvatura media de la superficie batimétrica generada para el área del Frente Valdés (tamaño de píxel: 100m). Los valores mayores y menores a |1| fueron llevados a valores de 1 y -1 para mejorar la visualización.

El índice de posición bentónica (BPI) y el índice (o integral) hipsométrico (HI) son índices utilizados como medida de la complejidad de un área. Mientras que el primero hace referencia a la relación de la profundidad en un punto respecto a los de al lado, la segunda muestra la desviación relativa, en términos de profundidad, de cada píxel en relación a sus vecinos, permitiendo identificar áreas con estructuras que se desvían de la tendencia de la superficie.

En el área de estudio ambas superficies muestran la persistencia del efecto transecto, un artefacto que no responde a las características reales de la superficie del fondo. Además de esto, se observa una mayor complejidad de estructuras en las áreas costeras, al sur de Puerto Rawson y al sur y frente de Península Valdés. Por último, se observan pequeñas estructuras a lo largo del área de estudio, presentes también en el frente de la Península Valdés (Figura 17). Estas capas de información deben ser interpretadas a escalas mayores, junto con otras piezas de información relativas a la naturaleza sedimentológica del fondo.

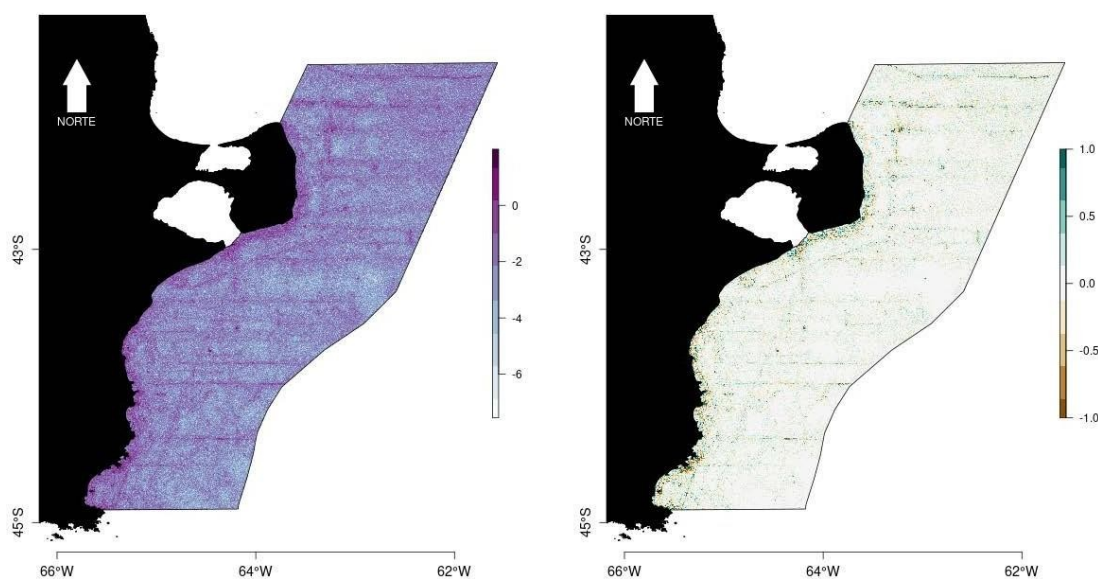


Figura 17. Índice de posición bentónica (BPI, izquierda) e Índice hipsométrico (HI, derecha) de la superficie batimétrica generada en el área del Frente Valdés. Para mejorar la visualización, BPI se muestra en escala logarítmica y los valores de HI fueron truncados para el rango [-1,1]

5.2 Área de interés Golfo San Jorge

5.2.1 Base de datos batimétrica

Las bases de datos obtenidas para el área del Golfo San Jorge (GSJ), una vez realizados los procesos de depuración descritos en los apartados 3.4 y 4.2 de este informe, resultaron tal y como se describe:

1) Cartas náuticas del Servicio de Hidrografía Naval

Las cartas náuticas obtenidas para el área de estudio, junto con aquellas de áreas aledañas que contaban con sondas en el interior de la misma, sumaron un total de 3522 sondas, con profundidades entre los 0.3 y 119m de profundidad (**Figura 18**).

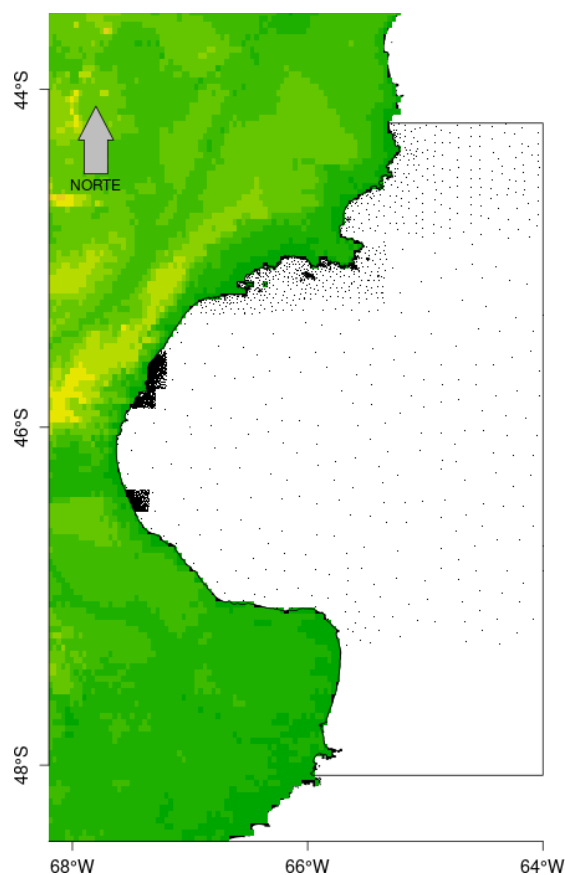


Figura 18. Sondas procedentes de cartas náuticas del SHN para el área del Golfo San Jorge

2) Información batimétrica generada a partir de los transectos de las campañas realizadas por el INIDEP

La información procesada y compartida por el INIDEP a partir de sus campañas oceanográficas contribuyeron en 85085 datos dentro del área de estudio, con valores de profundidad entre 11.5 y 123.1m, situándose la mayor parte de ellos entre los 60 y los 95m de profundidad (Figura 19). Estos datos se distribuyen en transectas situadas sobre todo en el área norte y sur del GSJ, teniendo menos presencia en la zona central (**Figura 20**).

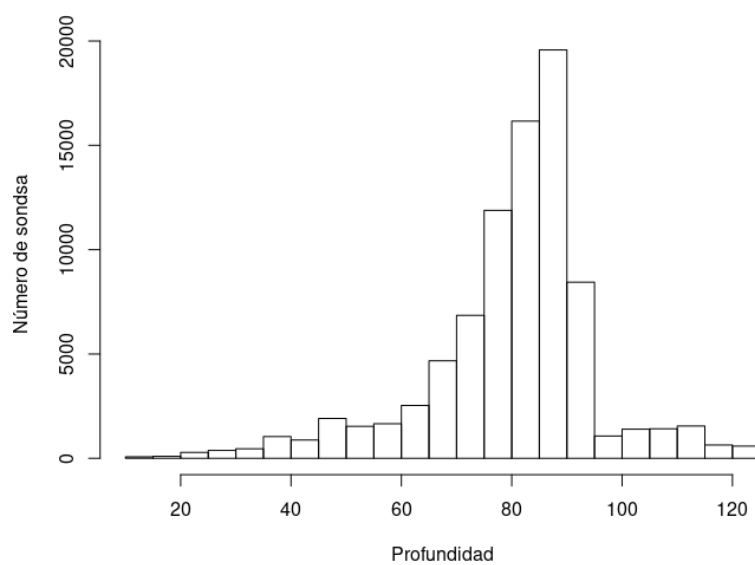


Figura 19. Histograma de frecuencias de profundidades para los datos cedidos por el INIDEP

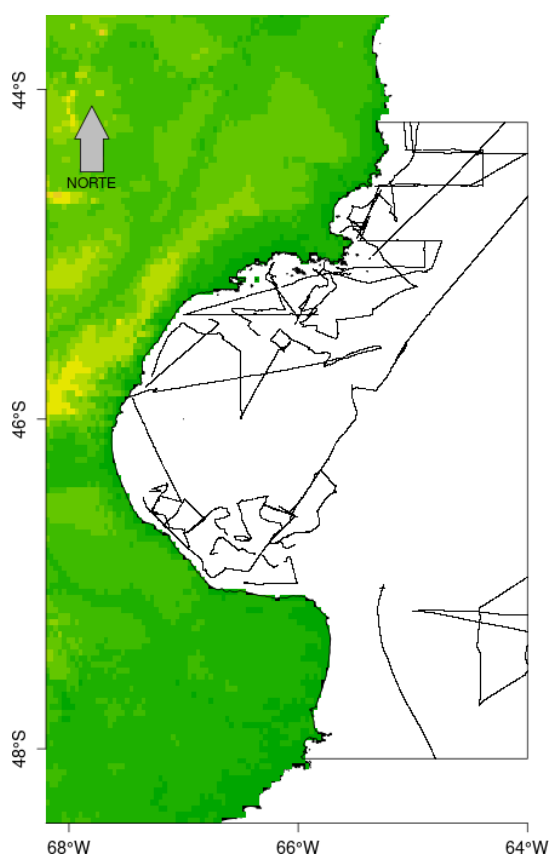


Figura 20. Sondas procedentes de campañas oceanográficas del INIDEP para el área del Golfo San Jorge

3) Información batimétrica obtenida durante campañas oceanográficas del CONICET a bordo del buque ARA Puerto Deseado y campañas acústicas realizadas por el INIDEP

En este conjunto de datos se incluyen: i) los datos de la campaña de 2017 realizada a bordo del buque ARA Puerto Deseado, ii) los datos adquiridos en campañas acústicas del INIDEP que fueron procesados para la caracterización del GSJ en el contexto del proyecto *“Ecological footprint of bottom trawling in the Atlantic Patagonian shelf: quantification of disturbance and expected impacts on seabed habitats and communities”* y iii) los datos procedentes de la campaña MARGES realizada a bordo del buque CORIOLIS II. Los datos de la campaña realizada en 2016 a bordo del buque ARA Puerto Deseado fueron descartados por problemas en la información procedente del sistema de posicionamiento, lo que impedía realizar una corrección de marea fiable.

Estas campañas aportaron un total de 147755 sondas, con valores de profundidad entre 4.2 y 146.7m. Estos datos se distribuyen a lo largo de toda el área de estudio en transectos con orientación mayoritariamente NW-SE (**Figura 21**).

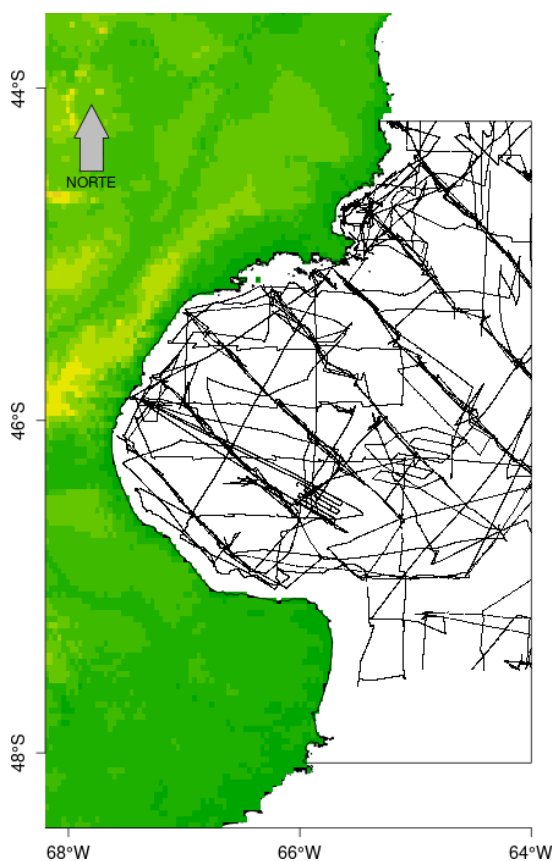


Figura 21. Sondas procedentes de campañas oceanográficas del CONICET e INIDEP para el área del Golfo San Jorge

4) Puntos localizados a lo largo de la línea de costa

Para el área de estudio se incluyeron 59128 puntos a lo largo de la línea de costa, desde Bahía de Santa Elena al norte hasta Punta Buque al sur, todos con valor de profundidad igual a 0 y separación entre ellos de entre 20 y 30 m.

5) Información batimétrica asociada a los lances de pesca de la flota de Chubut, cedido por el programa de “Observadores a bordo” (POBCh) de la Secretaría de Pesca de la Provincia de Chubut.

Se utilizó la base de datos de lances desde 2001 a 2017. Todos los lances (puntos) fueron sometidos a una corrección de marea y depuración de errores. La base depurada contó con 38249 lances dentro del área de interés, distribuidos únicamente en las aguas de jurisdicción de la provincia de Chubut (**Figura 22**). El rango de profundidad de los datos fue de entre 2.8 y 123m.

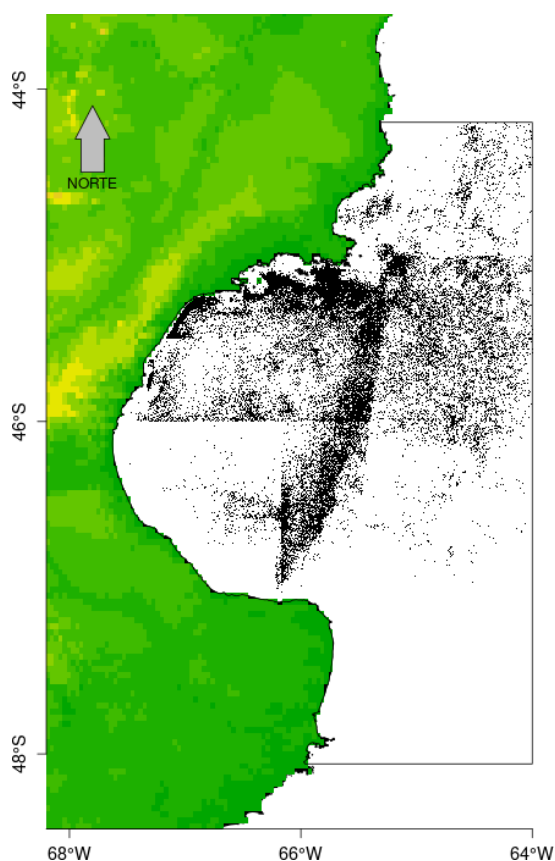


Figura 22. Puntos batimétricos procedentes del Programa de Observadores a bordo de la Provincia de Chubut (POBCh) para el área del Golfo San Jorge

Además de las 5 bases de datos anteriores, de carácter más general en cuanto a la distribución de sus datos, en esta área se contó con varias fuentes de datos de detalle, de alta resolución, pero baja cobertura espacial. Estas fueron:

6) Registros obtenidos con sonda multihaz en la campaña oceanográfica MARGES y con un sonar de barrido lateral interferométrico en una campaña costera realizada con el IADO.

En estas campañas se adquirieron datos en tres áreas del norte del Golfo San Jorge con equipos que permiten, tras su procesamiento, la generación de superficies batimétricas continuas. Como se explicó en la sección 3.3, de estas superficies se extrajeron datos separados entre sí 50m, obteniendo un total de 11305 sondas batimétricas, con valores de profundidad de entre 5.2 y 121.3m, todos ellos situados dentro del Parque Interjurisdiccional Marino Costero Patagonia Austral (PIMCPA), en el norte del Golfo San Jorge (**Figura 23**).

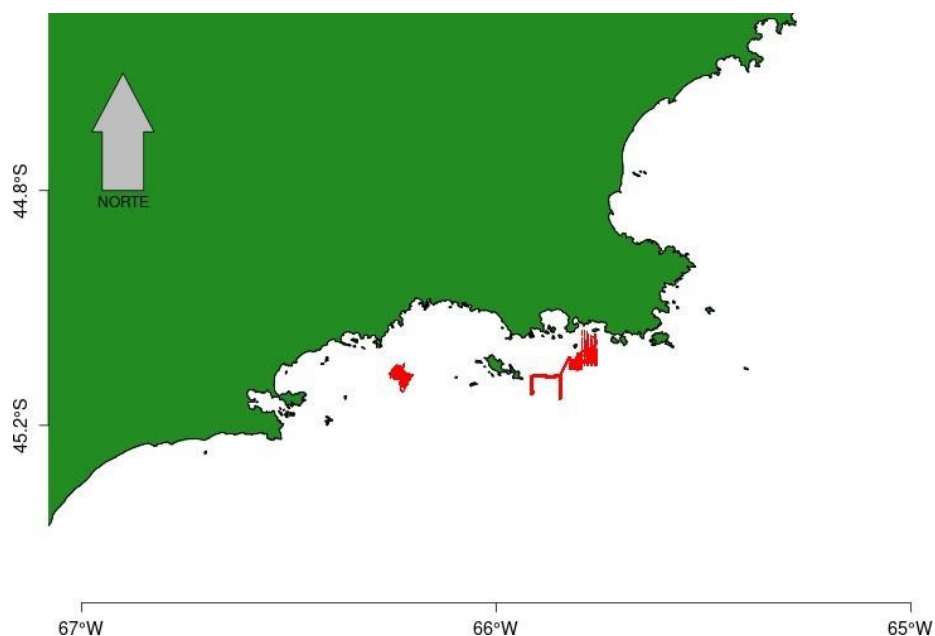


Figura 23. Sondas procedentes de los datos adquiridos con sondas multihaz y sonar de barrido lateral interferométrico para el norte del Golfo San Jorge

La base de datos batimétricos generada para el área de trabajo del GSJ con la información procedente de las fuentes anteriores y una vez sometida a los procesos de depuración de errores especificados en la sección 4.2, contó con 4281 sondas batimétricas, con valores de profundidad entre -2 y 71.6m (correspondiendo los valores negativos al área intermareal). Todos estos datos se sitúan dentro del Parque Interjurisdiccional Marino Costero Patagonia Austral (PIMCPA), en el norte del Golfo San Jorge (**Figura 24**).

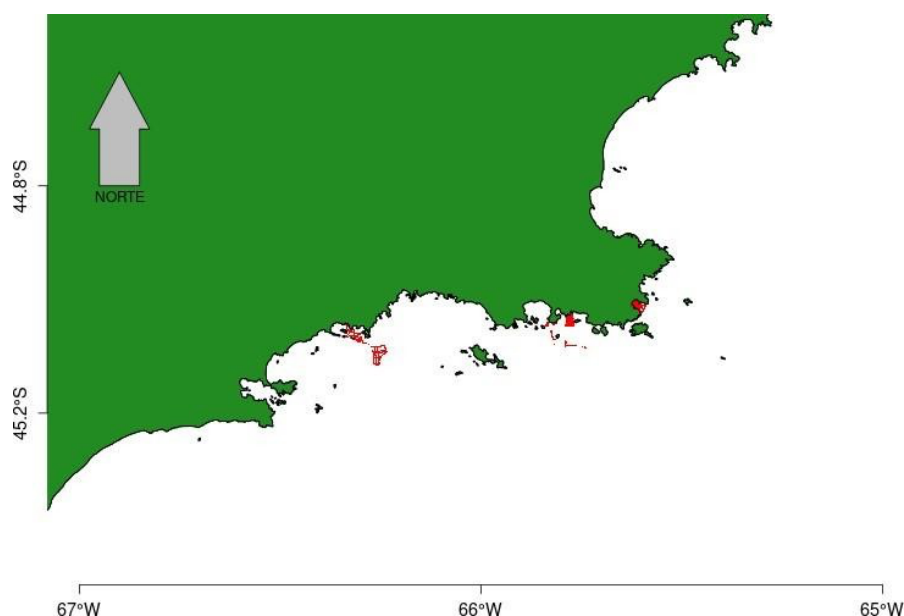


Figura 24. Sondas procedentes de campañas costeras realizadas por investigadores de la "Red de Trabajo en Pesquerías y Ecosistemas Costeros" en el norte del Golfo San Jorge

5.2.2 Superficie batimétrica

Mediante el proceso de interpolación descrito en la sección 4 se obtuvo una superficie batimétrica para el área de GSJ, con un tamaño de píxel de 100m y un rango de profundidades de entre -1.4 y 128.3m (siendo los valores negativos, topográficamente positivos, correspondientes a áreas del intermareal) (**Figura 25**).

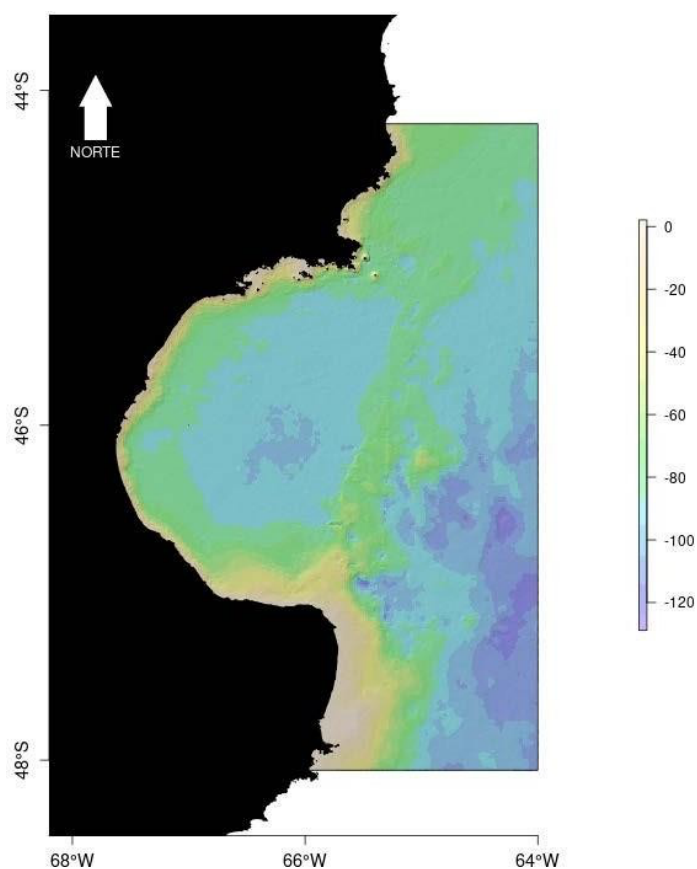


Figura 25. Superficie batimétrica generada para el área del Golfo San Jorge

En lo relativo a su fiabilidad, la superficie obtenida muestra una diferencia de profundidades media (Δz) de aproximadamente 0m, lo que quiere decir que no hay ningún desplazamiento sistemático de los puntos respecto de la superficie batimétrica. Por otro lado, el error cuadrático medio (RMSE) de la superficie evaluado por validación cruzada fue de 2.14 (± 0.05)m.

El coeficiente de correlación obtenido entre los puntos utilizados para la el cálculo de la batimetría y la superficie obtenida fue de 0.9951 (± 0.0002 , IQR). Por último, el índice de concordancia obtenido para esta superficie fue de 0.9950 (± 0.0002 , IQR). Ambos valores son esperablemente altos en una superficie ajustada a los datos de origen. Una desviación

en estos estadísticos mostraría un sesgo y un número elevado de valores extremos.

Es necesario tener en cuenta que, a pesar de los buenos valores de validación obtenidos, existen puntos con errores relativos altos correspondientes a elementos batimétricos que, por sus dimensiones, no pueden ser resueltos en batimetrías generales y suavizadas. Por último, es necesario recalcar, que esta batimetría ha sido generada con un algoritmo que tiene por objetivo reconstruir, de la forma más fiel posible, las características

topográficas del fondo, no la estricta precisión de la batimetría. Por esta razón no debe ser utilizada como fuente de información para la navegación. En este sentido debe acudir siempre a la información facilitada por el SHN.

Es importante tener en cuenta también que la densidad de puntos originales dentro del área de estudio para poder realizar una valoración cualitativa de la fiabilidad de la superficie obtenida: allí donde no se cuente con muchos datos, la superficie puede haber sido muy simplificada en relación a la original. El mapa de densidad de datos (**Figura 26**), donde cada píxel es evaluado con los puntos situados en un radio de 10km, muestra una elevada densidad de datos en el área del PIMCPA, al norte de este, en la costa de Cabo dos Bahías y Bahía Camarones, y en la zona sur de la boca del golfo, un área de elevado interés por su productividad, donde se han concentrado varias campañas oceanográficas y muchos datos de observadores pesqueros.

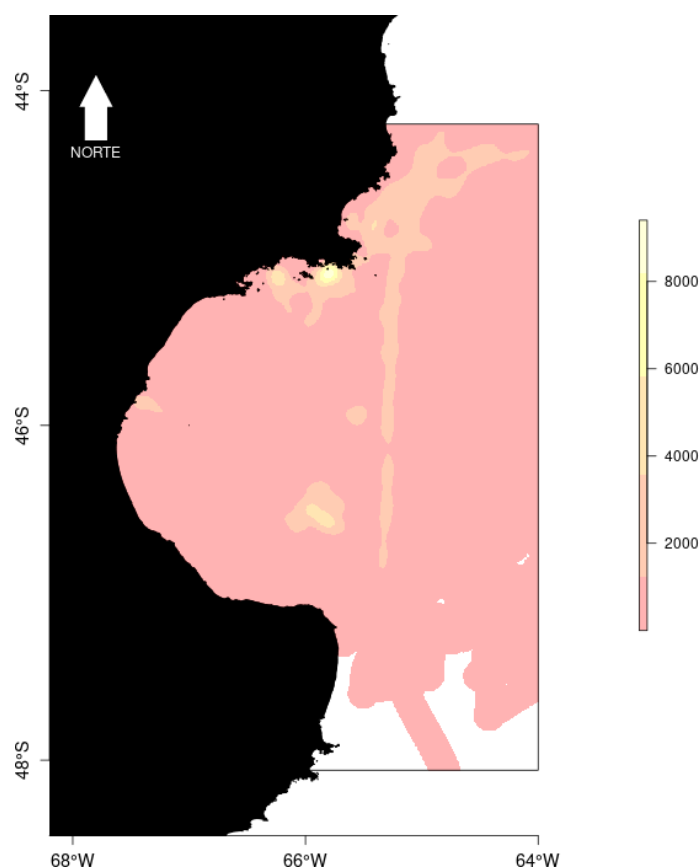


Figura 26. Mapa de densidad de puntos batimétricos utilizados para la generación de la superficie batimétrica en el área del Golfo San Jorge

5.2.3 Variables topográficas derivadas

En este trabajo se calcularon 6 variables topográficas derivadas de la batimetría: la pendiente, las orientaciones (este y oeste), la curvatura media, el índice de posición bentónica (BPI) y el índice hipsométrico (HI).

La pendiente, calculada como porcentaje (metros de ascenso por cada 100m recorridos), mostró valores de entre 0 y 5.98, con los valores más altos concentrados en la zona costera, especialmente el área del PIMCPA, y en la parte sur de la boca del Golfo San Jorge (**Figura 27**).

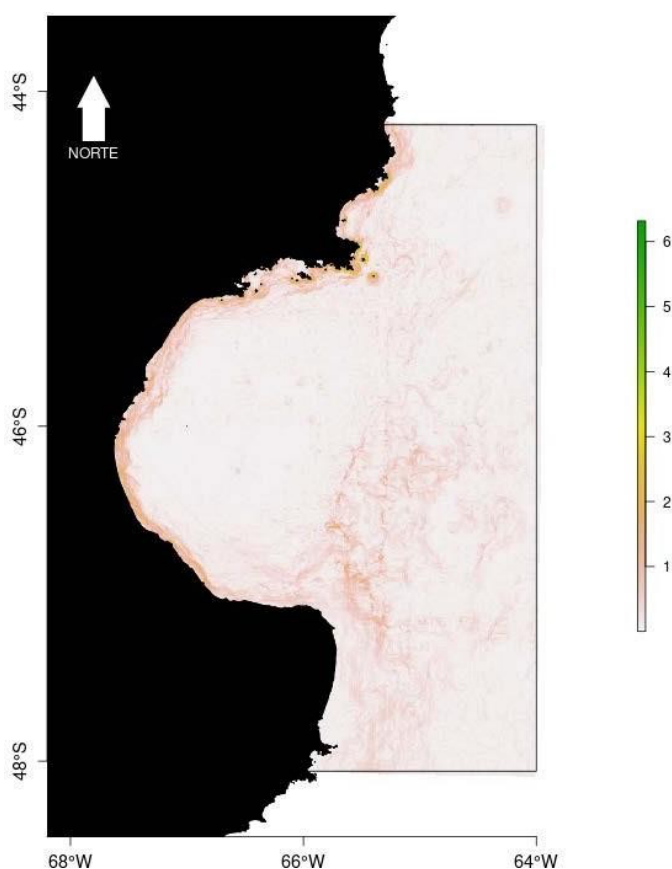


Figura 27. Pendientes obtenidas a partir de la batimetría del Golfo San Jorge (tamaño de píxel: 100m)

Las orientaciones fueron caracterizadas por su componente norte (coseno de la orientación de la pendiente) y su componente este (seno de la orientación de la pendiente). En el área de estudio se observaron pendientes con componentes norte y sur casi en el mismo número de píxeles (49.99 y 50.01% respectivamente), presentando mayor orientaciones sur el área del PIMCPA y norte la zona costera desde Comodoro hasta el Cabo Tres Puntas (Figura 28). En cuanto a su componente este- oeste, el área de estudio presenta pendientes con orientaciones predominantes del oeste (61.59%), aunque en la costa con orientación este (desde el sur de Bahía Bustamante hasta Mazarredo), esta orientación se mantiene en la zona sumergida. La componente este es también predominante fuera del golfo, especialmente al sur (**Figura 28**).

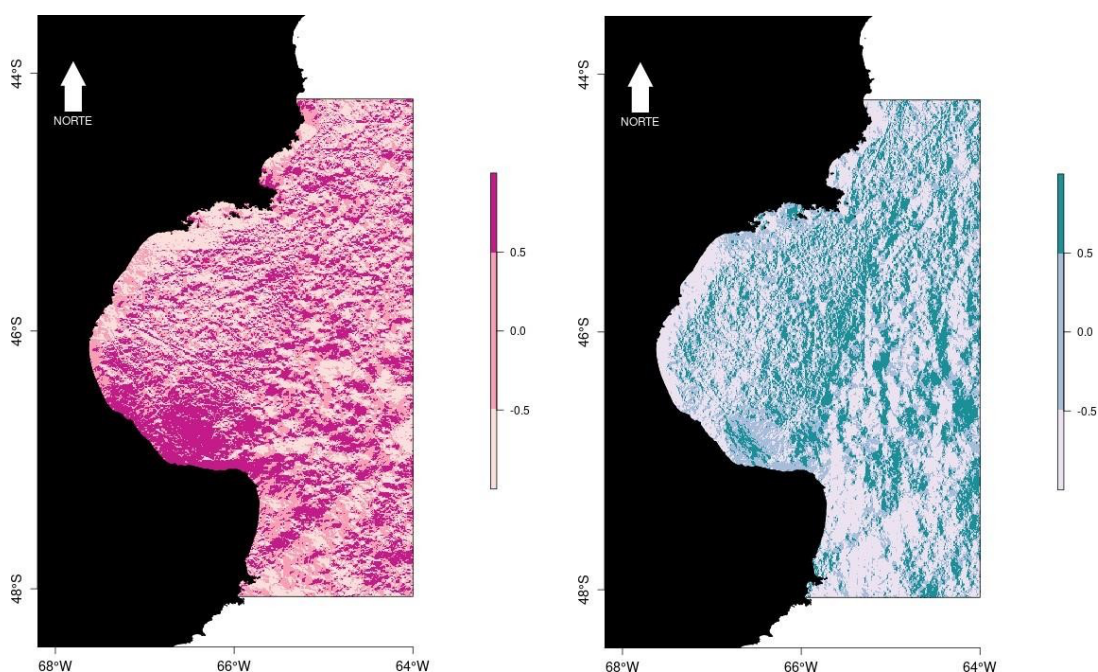


Figura 28. Componente norte (izquierda) y componente este (derecha) de la orientación de la pendiente en el área del Golfo San Jorge (tamaño de píxel: 100m)

La curvatura media es calculada como la suma de los coeficientes cuadráticos del

ajuste local de la superficie a un paraboloides (en el sentido de los mínimos cuadrados), estimados a partir de las derivadas segundas en las direcciones este-oeste y norte-sur. En el área de estudio del GSJ la curvatura media presenta casi en la totalidad del área valores cercanos a 0 (**Figura 29**).

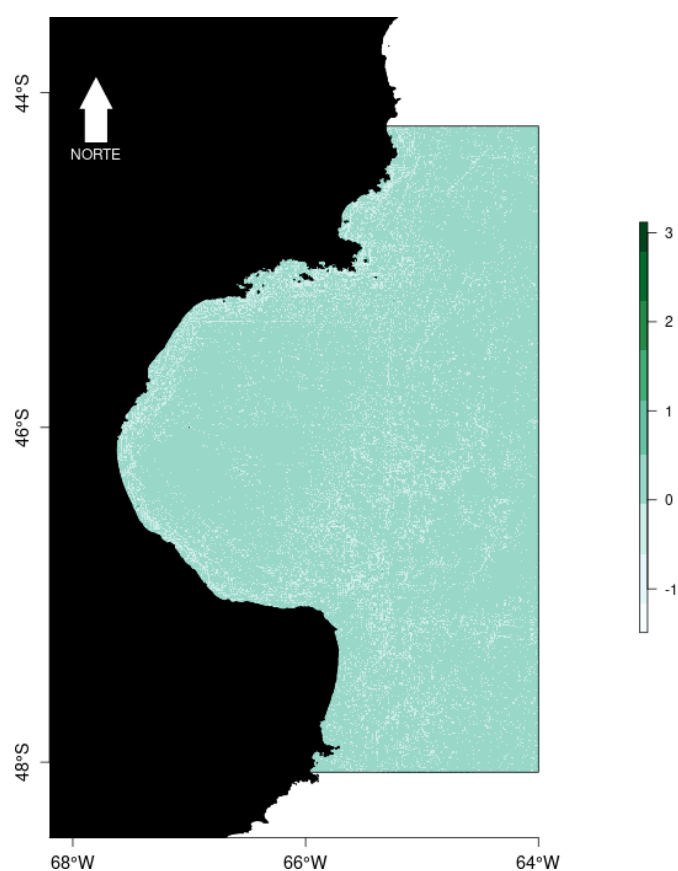


Figura 29. Curvatura media de la superficie batimétrica generada para el área del Golfo San Jorge (tamaño de píxel: 100m).

El índice de posición bentónica (BPI) y el índice hipsométrico (HI) son índices utilizados como medida de la complejidad de un área. Mientras que el primero hace referencia a la relación de la profundidad en un punto respecto a los de al lado, la segunda muestra la desviación relativa, en términos de profundidad, de cada píxel en relación a sus vecinos, permitiendo identificar áreas con estructuras que se desvían de la tendencia de la superficie.

En el área de estudio ambas superficies muestran la persistencia de algunas de las trayectorias de transectos, aunque la mayoría no se observan. Este artefacto no responde a

las características reales de la superficie del fondo. Además de esto, se observa una mayor complejidad de estructuras en toda el área costera, especialmente en la zona norte del golfo. Además, se observa también complejidad del fondo en la parte sur de la boca del golfo, donde la batimetría mostró una cresta submarina (**Figura 30**). Aunque se observan patrones generales, estas capas de información pueden también ser interpretadas a escalas menores, junto con otras piezas de información relativas a la naturaleza sedimentológica del fondo.

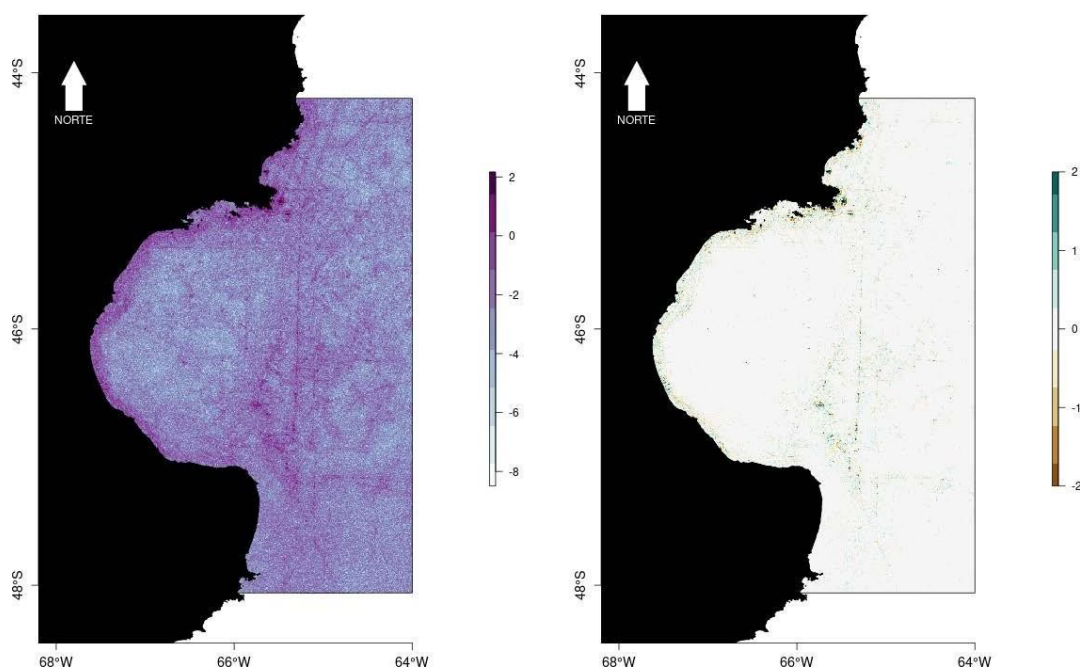


Figura 30. Índice de posición bentónica (BPI, izquierda) e Índice hipsométrico (HI, derecha) de la superficie batimétrica generada en el área del Golfo San Jorge. Para mejorar la visualización, BPI se muestra en escala logarítmica y los valores de HI fueron truncados para el rango [-1,1]

Referencias

- Amante C., y Eakins B.W.**, 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. DOI: 10.7289/V5C8276M
- Anderson, J. T., Van Holliday, D., Kloser, R., Reid, D. G., & Simard, Y.** (2008). Acoustic seabed classification: current practice and future directions. *ICES Journal of Marine Science*, 65(6), 1004- 1011.
- Basu, A., & Malhotra, S.** (2002). Error detection of bathymetry data by visualization using GIS. *ICES Journal of Marine Science*, 59(1), 226-234.
- Blondel, P.** (2018) Quantitative Analyses of Morphological Data. In: Submarine Geomorphology. Aaron Micallef, Sebastian Krastel, Alessandra Savini, Eds. Springer Geology, Springer. (ISBN: 978-3- 319-57851-4; DOI: 10.1007/978-3-319-57852-1)
- Egbert, Gary D., and Svetlana Y. Erofeeva** (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19(2): 183-204.
- Finkl, C. W., Benedet, L., & Andrews, J. L.** (2005). Interpretation of seabed geomorphology based on spatial analysis of high-density airborne laser bathymetry. *Journal of Coastal Research*, 501-514.
- Flater, D.** (2005). XTide. <https://flaterco.com/xtide/>
- Ierodiaconou, D., Monk, J., Rattray, A., Laurenson, L., & Versace, V. L.** (2011). Comparison of automated classification techniques for predicting benthic biological communities using hydroacoustics and video observations. *Continental Shelf Research*, 31(2), S28-S38.
- IHO** (2014). IHO TRANSFER STANDARD for DIGITAL HYDROGRAPHIC DATA. Monaco
- Jaffe, B. E., Smith, R. E., & Foxgrover, A. C.** (2007). Anthropogenic influence on sedimentation and intertidal mudflat change in San Pablo Bay, California: 1856–1983. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(1-2), 175-187.
- Jiskoot, H., Curran, C. J., Tessler, D. L., & Shenton, L. R.** (2009). Changes in Clemenceau Icefield and Chaba Group glaciers, Canada, related to hypsometry, tributary detachment, length–slope and area– aspect relations. *Annals of Glaciology*, 50(53), 133-143.
- Klemas, P., & Victor, V.** (2009). Remote sensing of coastal resources and environment. *Environmental Research, Engineering and Management*, 48(2), 11-18.
- Lawes, G.** (2013) Architecture independent vertical TPU estimation for multi-beam sonar processing. USHydro.
- Lecours, V., Dolan, M. F., Micallef, A., & Lucieer, V. L.** (2016). A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(8), 3207-3244.

Lee, Z., Hu, C., Casey, B., Shang, S., Dierssen, H., & Arnone, R. (2010). Global Shallow–Water Bathymetry From Satellite Ocean Color Data. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 91(46), 429-430.

Matsuyama, M., Walsh, J. P., & Yeh, H. (1999). The effect of bathymetry on tsunami characteristics at Sisano Lagoon, Papua New Guinea. *Geophysical Research Letters*, 26(23), 3513-3516.

Micallef, A., Le Bas, T. P., Huvenne, V. A., Blondel, P., Hühnerbach, V., & Deidun, A. (2012). A multi- method approach for benthic habitat mapping of shallow coastal areas with high-resolution multibeam data. *Continental Shelf Research*, 39, 14-26.

Nishida, T., Mohri, M., Itoh, K., & Nakagome, J. (2001). Study of bathymetry effects on the nominal hooking rates of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) exploited by the Japanese tuna longline fisheries in the Indian Ocean. In *IOTC Proceedings* (Vol. 4, No. 4, pp. 191- 206).

Ranganathan, P., Pramesh, C. S., & Aggarwal, R. (2017). Common pitfalls in statistical analysis: Measures of agreement. *Perspectives in clinical research*, 8(4), 187.

Sánchez-Carnero, N., Aceña, S., Rodríguez-Pérez, D., Couñago, E., Fraile, P., & Freire, J. (2012). Fast and low-cost method for VBES bathymetry generation in coastal areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 114, 175-182.

Sánchez-Carnero, N., Ojeda-Zujar, J., Rodríguez-Pérez, D., & Marquez-Perez, J. (2014). Assessment of different models for bathymetry calculation using SPOT multispectral images in a high-turbidity area: the mouth of the Guadiana Estuary. *International journal of remote sensing*, 35(2), 493-514.

Sánchez-Carnero, N., Rodríguez-Pérez, D., Couñago, E., Le Barzik, F., & Freire, J. (2016). Species distribution models and local ecological knowledge in marine protected areas: The case of Os Miñarzos (Spain). *Ocean & Coastal Management*, 124, 66-77.

Sánchez-Carnero, N., & Rodríguez-Pérez, D. (2021). A sea bottom classification of the Robredo area in the Northern San Jorge Gulf (Argentina). *Geo-Marine Letters*, 41(1), 1-14.

Sonvico P.M.F., Cascallares G., Madirolas A., Cabreira A.G. y Menna B.V., 2021. Repositorio de líneas batimétricas de las campañas de investigación del INIDEP. INIDEP, Gabinete de Hidroacústica, 6 pp.

Stocks, K. I., Boehlert, G. W., & Dower, J. F. (2004). Towards an international field program on seamounts within the Census of Marine Life. *Archive of Fishery and Marine Research*, 51(1-3), 320- 327.

Sutherland, J., Walstra, D. J. R., Chesher, T. J., Van Rijn, L. C., & Southgate, H. N. (2004). Evaluation of coastal area modelling systems at an estuary mouth. *Coastal Engineering*, 51(2), 119-142.

Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis* (Vol. 2, pp. 131-160).

Van Rijn, L. C., Walstra, D. J. R., Grasmeijer, B., Sutherland, J., Pan, S., & Sierra, J. P. (2003). The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based profile models. *Coastal Engineering*, 47(3), 295-327.

Walbridge, S., Slocum, N., Pobuda, M., & Wright, D. J. (2018). Unified geomorphological analysis workflows with Benthic Terrain Modeler. *Geosciences*, 8(3), 94.

Wedding, L. M., Friedlander, A. M., McGranaghan, M., Yost, R. S., & Monaco, M. E. (2008). Using bathymetric lidar to define nearshore benthic habitat complexity: Implications for management of reef fish assemblages in Hawaii. *Remote Sensing of Environment*, 112(11), 4159-4165.



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible
Argentina

